

Bina Modelleme Çalışmalarında İHA-0 Kullanımı ve Tarihi Bina Modelinde Detay Doğruluğu Analizi

Fuat Buğra İdrisoğlu^{1,*}, Bahadır Ergün²

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 41400 Kocaeli

²Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 41400 Kocaeli

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. CityGML standartlarında beş farklı Ayrıntı Düzeyi (Level of Detail-LoD) bulunmakta olup, 3B bina modellemelerinde ortak bir standart belirleme gerekliliğiyle oluşturulmuştur. 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 içerdikleri sonucuna varılmıştır.

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

1. Giriş

Mobil haritalama, son dönemlerde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında çokça yer almakta, 1980'li yılların sonlarından itibaren araştırılmaya ve geliştirilmeye devam etmektedir. GPS teknoloji kullanımının sivil amaçlı kullanımlar için uygun olması sonrası bu süreç başlamıştır. Temelde yapısı hareketli bir platform, navigasyon ve haritalama sensörlerinden oluşmaktadır. Mobil haritalamada kullanılan mobil platformlar karada, denizde veya havada hareket eden araçlar olabilir. Genellikle, Global Konumlandırma Sistemi (GPS) alıcıları, araç hareket sensörleri ve ataletsel navigasyon sistemleri (INS- inertial navigation systems) gibi navigasyon sensörleri kullanılan mobil platformların ve haritalama algıyıcılarının konum ve yön bilgilerini sunar. (Li 1997)

Temelde Mobil haritalama sistemleri; üzerinde bütünlük 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.)

Mobil Haritalama, mobil çoklu sensör platformunu kullanarak mekansal-uzaysal olayların edinimi olarak tanımlanabilir. Amacı, kayıtlı verilerden yapılandırılmış nesne bilgisini elde etmektir. (Örneğin; haritalar veya dijital arazi modelleri (DTM-Digital Terrain Model).)

Mobil Haritalamada işlem zinciri sırasıyla aşağıdaki adımlardan meydana gelir;

1. Platformun mobilizasyonu,
2. Veri toplama,
3. Veri işleme,
4. Nesne bilgisinin elde edilmesi. (Neitzel ve Klonowski 2011)

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

İHA (İnsansız Hava Aracı) (UAV; unmanned aerial vehicle), istenilen uçuş planına göre otomatik/yarı otomatik yol alabilen veya kontrol merkezinde bir pilot tarafından uzaktan yönetilerek uçurulabilen bir mobil haritalama platformudur.

* Sorumlu Yazar: Tel: 0(507) 378 43 90

E-posta: fuatbugraidrisoglu@gmail.com (İdrisoğlu F,B), bergun@gtu.edu.tr (Ergün B)

İHA'lar öncelikli olarak askeri ihtiyaçlardan dolayı üretilmiş olup, günümüzde sivil alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Sivil alanlarda da kullanılmaya başlayan İHA'lar, sosyal alanlarda kullanılmalarıyla birlikte, eğlence amaçlı da kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. (Li 1997)

İHA'lar genel yapı olarak dijital kamera, GPS/IMU ve LİDAR mevcut olduğu durumlarda da olan LiDAR eklenmesiyle oluşan platformlardır. (Uzar ve Özemer, 2019).

İHA platformları yük kapasitelerine ve teknik özelliklerine bağlı olarak 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 entegre İHA'lar İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHS) olarak isimlendirilmektedir. (Yılmaz vd. 2018)

Temel İHA platformu gövde, üst koruma, sağ-sol motorlar, devre kartı ve pervanelerden meydana gelmektedir. (İyibilgin vd. 2016). İHA platformları ağırlık taşıma kapasitesine ve teknik özelliklerine bağlı olarak yapısında termal ya da kızılötesi kamera sistemleri, video kamera, multispektral kameralar, lazer tarayıcıları birini veya birkaçını aynı anda bulundurabilir. İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHS) ise GNSS/INS (Global Navigation Satellite System/Inertial Navigation System) sistemi, pusula sistemlerini ve barometrik altimetre entegre edilmiş bir sistem olarak tanımlanabilir. (Yılmaz vd. 2018).

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

- Güvenlik;
- Bilimsel araştırmalar;
- 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 ve 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 amaçla hava fotoğrafçılığı, hava fotoğrafı ve video, kartografya iş grubunu oluşturan tipik eserler arasındadır. (Yılmaz vd. 2018).

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.

Tablo.1 İha Sınıfları

1.2. İHA(UAV) Fotogrametri

İHA fotogrametrisi, İHA uçuşlarında çekilen fotoğraflar kullanılarak bun fotoğraflardan fotogrametrik veri üretimidir. İHA'lar genel yapı olarak dijital kamera, GPS/IMU ve LİDAR mevcut olduğu durumlarda da olan LiDAR eklenmesiyle oluşan platformlardır. (Uzar ve Özemer, 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 fotogrametrisini birleştiren, fakat aynı zamanda klasik hava fotogrametrisine yakın kalitede gerçek zamanlı uygulama ve düşük maliyetli alternatifler sunar. (Saadatseresht vd. 2015). İnsansız Hava Araçlarına (İHA) dijital kameraların birleştirilmesi ile İHALAR vasıtasıyla çekilen görüntülerden kartografik veri toplamak için Dijital Fotogrametri tekniklerinin uygulanması önemli ölçüde artmıştır. (Ruzgienė vd. 2015.)

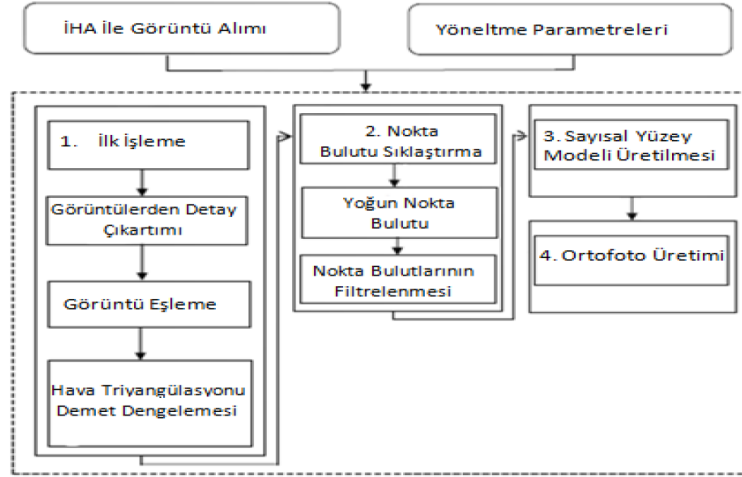
İnsansız Hava Aracı (İHA) platformu 1970'lerde, 1858' den itibaren süren fotogrametrik veri elde etmeye yarayan çeşitli platformlara başka bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. (Uzar ve Özemer 2016) İHA'lar, özellikle geleneksel pilotlu uçaklar ve uydulardan farklı olarak düşük maliyetleri, operasyonel esneklikleri, daha iyi mekansal ve zamansal çözünürlükleri tercih sebeplerindendir. (Agüera-Vega vd. 2017).

İHA ların kullanılmasına başlamasıyla da “İHA fotogrametrisi”, “İHA görüntüleri” vb. Yeni modern terminolojiler oluşmaktadır. “İHA fotogrametrisi” ise araçta bir pilot oturmadan uzaktan kontrol edilebilen, yarı otomatik veya tam otonom olarak çalışabilen fotogrametrik ölçüme olanak sağlayan platformları tanımlar. (Ruzgienė vd. 2015.)

Zaman ve maliyet açılarından 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-RMSE) baz alınarak doğruluk değerlendirmesi yapılır. İHA fotogrametrisi ile elde edilen ürünlerin doğruluğunu değerlendirmek için yapılan çalışmalarda genel olarak elde edilen ürünlerin doğruluğunu etkileyen en önemli değişkenlerin, yer kontrol noktalarının adedi ve bu noktaların uçuş sahasındaki dağılımı olduğu görülmüştür (Şener, 2019).

İHA fotogrametrisi, klasik hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında alçak yüksekliklerde uçuş imkânı sunduğundan nesnelere yakın görüntüler elde edilmesine olanak sağlar. İnsanlı hava araçları için uçuşa elverişsiz bölgelerde, ayrıca ulaşımın tehlikeli ve zor olduğu durumlarda, İHA'ların kullanımı bir adım öne çıkmaktadır. İHA fotogrametrisi ile küçük alanlarda yapılan uygulamalar klasik hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında daha düşük maliyetlerle büyük oranda ekonomik fayda sağlamaktadır. (Öztürk vd. 2017).

İç ve dış yöneltme aşamaları farklı algoritmaları kullanan ticari yazılımlar ile gerçekleştirilmekte ve İHA görüntüleri geometrik olarak düzeltilerek yöneltme işlemi yüksek doğrulukla sağlanmaktadır. Görüntülerin yazılımlar yardımıyla değerlendirilmesindeki örnek iş akışı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Öztürk vd. 2017). (Şekil 1.)



Şekil 1. İHA ile ortofoto üretimi iş akışı (Öztürk vd. 2017).

1.3. İHA(DRONE) Fotogrametri Avantajları ve Dezavantajları

İHA fotogrametrisi, zaman / maliyet / kalite konularını ele alındığında birçok avantaja sahip olmasına rağmen İHA'larla çalışmak için birçok zorlukta mevcuttur. (Saadatseresht vd. 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).

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) (Saadatseresht, vd. 2015).

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 karşılaştırıldığında 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 üretilmektedir. (Özmir ve Uzar 2016).

Bunlara ek olarak, İHA fotogrametrisi, herhangi bir 3 boyutlu noktayı hesaplamak için yalnızca birkaç fazladan 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 ve Klonowski 2011)

Ürün çeşitliliği olarak klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında; Saha araştırması kullanarak, sadece doğrusal haritalar ve DTM (Digital Terrain Model) üretilir. 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 Orto-foto haritaları ve 3 boyutlu modeller daha anlaşılabilir. Çünkü tüm nesneler ve özellikler, gerçekçi görünümüne 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 ve 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 kararludur 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).

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 mustarıptır (Neitzel ve 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 ve Klonowski, 2011).

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 uygulama 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 olacaktır (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).

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 vd 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 vd 2014).

İHA'ların kullanımı, zaman açısından tasarruf sağlamakta ve kısa sürede çok karmaşık, eksiksiz veri toplamaya izin verir, bu da haritalama ve belgelendirme amaçları için büyük bir avantajdır. 3 boyutlu bina modelleme çalışmalarında İHA'ların kullanımı çeşitli yönler ve açılardan görüntüler alarak, yapıların en yüksek noktalardan zeminin en alçak noktalarına kadar binaları modellemek için kapsamlı veri kümeleri toplama fırsatı sunar. (Malihi vd 2016).

Bu avantajların yanında, İHA'larla üretilen bir yoğunlaştırılmış nokta bulutunun, yapılar üzerindeki yansıtıcı yüzeylerden dolayı gürültülü verilere neden bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu durumlardan dolayı bina yüzeyinde yansıtıcı kaplamalar, pencere ve kapı gibi cam alanlarda sorunlarla karşılaşilmektedir. (Tutzaer ve Haala, 2015).

1.4. 3 Boyutlu Bina Modellemede Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı

İnternet ve bilgisayar teknolojilerinin günümüz dünyasında sürekli gelişmesine bağlı verilerin toplanması, düzenlenmesi, analiz edilmesi ve görsel olarak sunulabilmesi ihtiyacı artmıştır. Bu ihtiyaçlara paralel olarak beraber, veri tabanları kapasitesi ve işlevselliği artmış, ara yüzler kullanıcı dostu daha rahat olacak şekilde değişime uğramıştır.

Teknolojik değişimlerle beraber Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) mekânsal ve mekânsal olmayan birçok bilgiyi kullanıcıya aynı anda iki ve üç boyutlu görsel veriler sunmuştur. (Koç vd 2017).

Üç boyutlu modellemelere ilgi farklı metodlarla toplanan farklı formatlardaki farklı verilerin bir araya getirilip görsel ve üç boyutlu olarak sunulması vb. nedenlerden dolayı ihtiyaç giderek artmaktadır. Üç boyutlu kent ve şehir modellerin tanımı basitçe “Dünya yüzeyinin ve şehir alanlarına ait ilgili nesnelerin dijital temsili” şeklinde belirtilmektedir. (Fırat vd.2018).

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 ve 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 vd. 2014).

1.5. CİTYGML (City Geography Markup Language) ve LoD

CityGML; şehir hayatı ile ilgili her türlü obje ve kavramın gösterimi ve veri değişiminde kullanılmak amacıyla oluşturulmuş bir veri modelidir. (van den Brink vd.2013).

CityGML, SIG 3D üyeleri tarafından 2002 yılından bu yana geliştirilmektedir. 3B kent modelleri ve coğrafi görselleştirmenin 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 ayrıntı düzeyi (Level of Detail) LoD oluşturulmuştur. (Löwner ve Gröger 2016).

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 tabanlı destekleyen bütün OGC web servisleriyle birlikte kullanılabilir. (Özdoğan 2014).

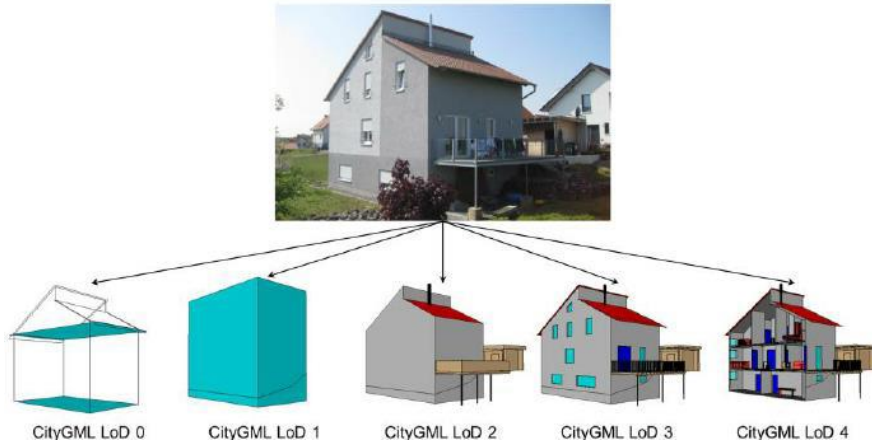
Ayrıntı Düzeyi (LOD), 3B modellemede ortak bir standart belirleme düzenidir ve özelliklerin eşit derecede azalan ayrıntı düzeylerinin basitleştirilmesini ifade eder. En yüksek detay seviyesi, 3B temsil edilen geometrinin en ayrıntılı özelliklerini eklediği için düşünülür. (Löwner vd. 2013).

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 temsiline 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 vd. 2013).

LoD'ler, bina süreci sırasında BIM ile ilgili bilgilerin güvenilirliğini ve güvenliğini ölçmemize izin verir: planlama ve inşaatı bakımına kadar (Fai ve Rafeiro 2014).

CityGML tarafından belirlenmiş 3B modelleme konusunda; Şekil 2.'de gösterildiği üzere LOD kavramı beşe ayrılır;

- LoD0 = Genellikle bölgesel ve düzlem haritalarda kullanılır 2.5 boyutlu sayısal arazi modelidir,
- LoD1 = Çatı yapılarının düz olduğu, blok modelidir.
- 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 2. LoD seviyeleri. (KOÇ 2016).

Detay Seviyesi (LoD-Level of Detail), 3B şehir modellerinde genelleştirme içeriğini ve standardını belirleyen bir kavramdır. LoD seviyelerinde derecesinin artması, 3B geometrinin detay içeriği açısından zenginleşmesi anlamına gelmektedir. LoD derecesinin azalması ile genelleştirme yoluyla detay seviyesi daha düşük geometrik görseller elde edilir. (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 (Biljecki, 2013).

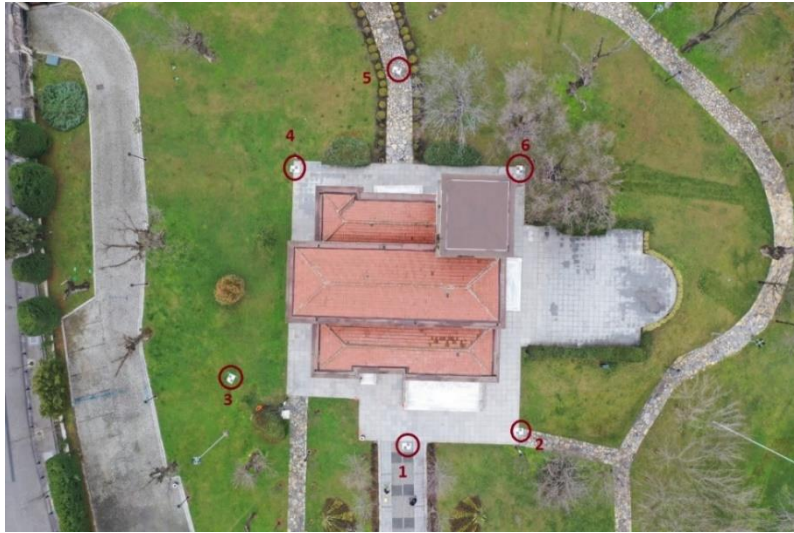
Ayrıntı düzeyleri veri azaltımı (reduction) ve hızlı bilgi edinimin desteklenmesine (support of immediate cognition) göre tanımlanabilir ve görselleştirilir. Geometrik olarak basitleştirme ve genelleştirme işlemi ile veri azaltımı yapılır. (Sester 2007).



Şekil 3. Ayrıntı Düzeyine göre harita görünümü sıralaması. (Biljecki,2013)

2. Uygulama

İHA ile fotogrametrik yöntemlerle ve yersel yöntemlerle uygulamayı gerçekleştirdiğimiz çalışma alanı, İstanbul ili, Ümraniye İlçesi, Hekimbaşı Mahallesi içerisinde kalan Tarihi Hekimbaşı Av Köşkü'dür. Tarihi Hekimbaşı Av Köşkü Küçüksu-Ümraniye güzergahında kalmakta olup, Hekimbaşı Mahallesi Çiftlik Caddesi ve Okul Caddesi arasında yer almaktadır. Tarihi Hekimbaşı Avköşkü; 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. (<http://www.umraniye.gov.tr/hekimbasi-av-kosku>)



Şekil 4. Çalışma alanı ve YKN (Yer Kontrol Noktaları)



Şekil 5. Bina Kontrol Noktaları.

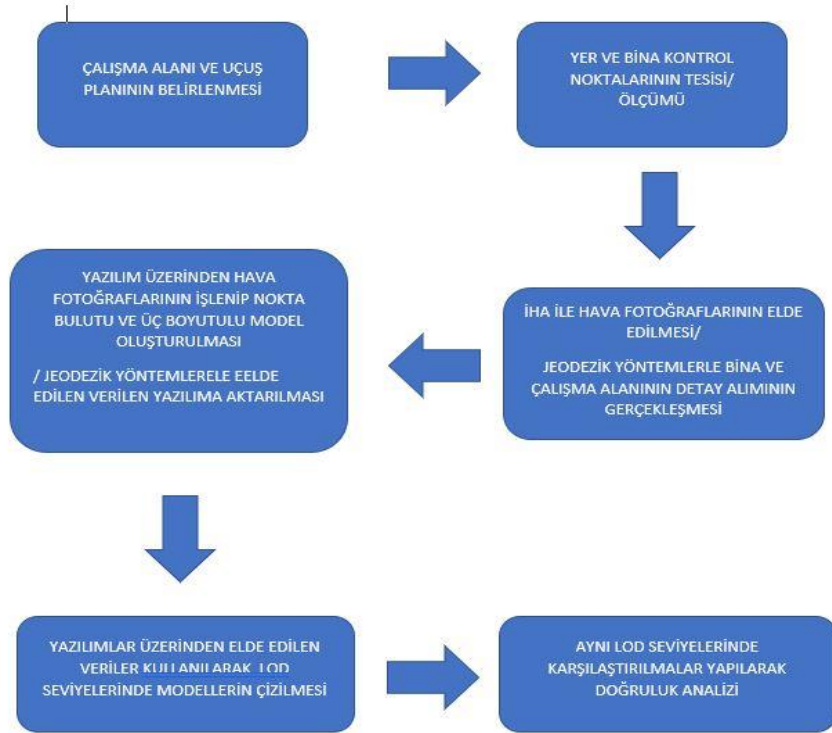
Bu çalışmada hava fotoğraflarını elde etmek için DJI Mavic 2 Pro insansız hava aracı kullanılmış olup, yersel uygulamalar için ise Leica firmasının üretmiş olduğu Viva GS 14 gps aleti ve Geomax Zoom35 PRO Reflektörsüz Total Station aleti kullanılmış bunların özellikleri aşağıdaki çizgelerde verilmiştir.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

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 ve Şekil.5) Çalışma alanında 6 adet yer kontrol noktası ve 18 adet yapı üzerinde kontrol noktaları tesis edilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle uçuş planları DJI Pilot Pe programına Google Earth üzerinden oluşturulmuş çalışma alanı aktararak 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 otomatik olarak oluşturulmuş ve uçuş planladığı şekilde gerçekleştirilerek tamamlanmıştır. 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.

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 noktaları üzerine alet kullanılarak ölçüm yapılmış ölçüm kendi içerisinde bir bütün olması istenmiştir.



Şekil 6. 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.

Daha sonra hava fotoğraflarının yöneltmesi anlık koordinat ve dönüklük değerlerinin otomatik olarak program tarafından belirlenmesi ile işlem sürecinin birinci işlem adımı başlanmıştır. Bu işlem adımı sona fotoğraflar kalibre edilme süreci başlatılmıştır. Bu işlem adımı program elde edilen fotoğraflar arasındaki ilişkileri göz önüne alarak otomatik olarak bağlantı noktaları oluşturup fotoğrafların kalibre edilmesi yazılım tarafından gerçekleştirilmiştir.

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 process 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.

Fotoğrafların kalibrasyonu sonrası kalite raporu kontrol edilerek projenin diğer adımlar için uygunluğu kontrol edilmiştir. Kalite raporuyla YKN ve BKN karesel ortalama hataları 0.006 m olduğu tespiti yapılmıştır. 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. Bu uygulamada bina yakın konumlanmış olan ağaçlar ve yapıdaki saydam yüzeylerden dolayı görüntüde gürültüler meydana gelmiştir. 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. 30)



Şekil 7. 3 boyutlu dokulu mesh

Uygulamada farklı lod seviyelerindeki ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturulması amacıyla mesh üzerinden çizimler yapılarak bu çizimler autocad ortamına aktırılmış ve 3 boyutlu çizimi manuel olarak sağlanmıştır. Jeodezik yöntemle elde edilen noktalarla ile de farklı detay seviyelerinde 3 boyutlu olarak gerekli çizimler sağlanmıştır.

Uygulama sonucunda oluşturulan LOD seviyeleri karşılaştırılması aşağıdaki gibidir;

LoD0 seviyesinde konumsal olarak ve cephe detayları karşılaştırılması yapılmıştır. (Tablo 2.)

	X	Y	Z
LOD0	0,01394019 m	0,00860741 m	0,00694 m

Tablo 2. LoD0 seviyesinde konumsal karesel ortalama hata

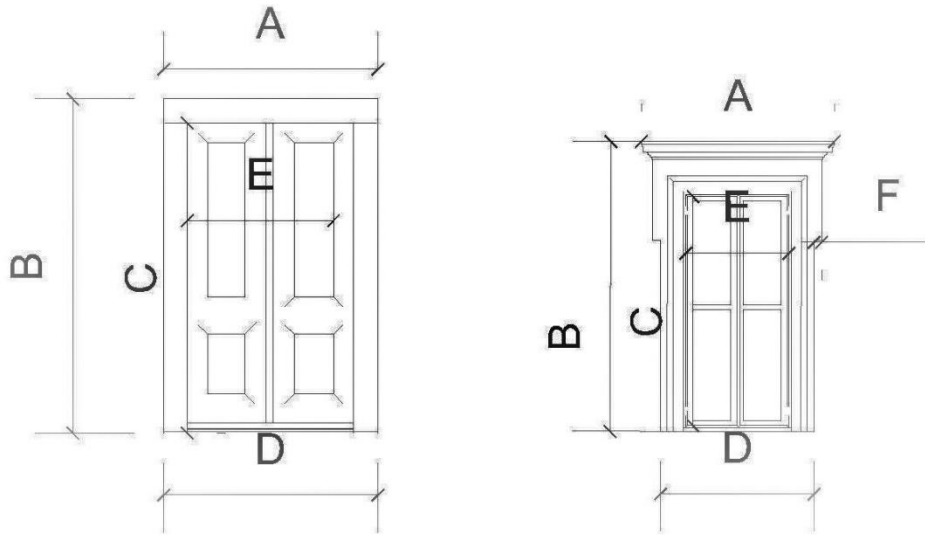
LoD0 seviyesinde yapılan karşılaştırmalar ile konumsal olarak ve cephe ölçüleri birbirleriyle karşılaştırılması sonucu cm hassasiyetinde sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Uygulama için LoD0 ve LoD1 seviyelerinde çizimlerde bina saçakları referans kabul edilerek çizim gerçekleştirilmiştir. Saçak ve çatı detayları LoD2 detay seviyesinde oluşturulmuştur. Çizimler ve ölçümler karşılaştırıldığında LoD1 detay seviyesinde de LoD0 seviyesine benzer olarak hassasiyetin cm seviyesinde olarak uygulama gerçekleştirilmiştir. CityGML LoD2 seviyesinde modellere çatı detayları eklendiği için bunlara birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Karesel Ortalama Hata 0,1154 m olarak karşımıza çıkmaktadır.

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

Tablo 3. LOD2 seviyesinde çatı üst noktalarının karşılaştırılması

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 aktararak tüm Lod seviyelerinde karşılaştırmalar için gerekli olan ölçüler ile koordinatların cad ortamına aktarımı sağlanmıştır. (Şekil) Yersel alım noktaları ile LoD3 seviyesinde çizimler sağlanmış yapı cepheleri detayları ile birlikte çizilmiştir. (Şekil)



Şekil 8. LoD3 seviyesinde cephe detayları.

LOD3 SEVİYESİNDE KARESEL ORTALAMA HATALAR			
A	0,038350689 m		
B	0,672980969 m		
C	0,039842565 m		
D	0,041802475 m		
E	0,062939031 m		
F	0,020901238 m		
	X	Y	Z
KONUM	0,019205 m	0,021860952 m	0,012510243 m

Tablo 4. LOD3 seviyesinde konumsal ve cephe detaylarının karşılaştırılmasıyla elde edilen karesel ortalama hatalar.

Tüm çizimler ve alımların tamamlanması sonrası cephe detayları ölçü değerleri ve konumsal olarak genelleştirme yapılarak bütün bir karşılaştırma gerçekleştirilmiş bunların karesel ortalama hataları yukarıdaki tabloda verilmiştir. (Tablo 4)

3. Sonuç ve Geleceğe Yönelik Tartışmalar

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 artırılabilirdiği 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 yapılan çalışma 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 çıkarımları yapılmıştır. (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 özneliklere göre standart LoD seviyelerinden bağımsız bir şekilde, bir nevi kendi özel LoD seviyelerini oluşturma ve görüntüleme fırsatının yazılım üzerinde sağlanması gerektiği de gözlemlenmiştir.
- Günümüzde karmaşıklaşan kent yapılarıyla 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 ihtiyacı gözlemlenmiştir.

Tüm bu incelemeler neticesinde haritacılık alanında kullanımı ve önemi giderek artan İHA'nın, 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), 04016025.
- 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., Zhao, J. (2014). formalisation of The Level of Detail In 3D City Modelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 1-15.
- 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.
- Fırat Uray., Varlık A., Metin, A. (2018). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği. *Geomatik*, 3(1), 74-83.
- 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 İle Ortofoto ve Sym Üretimi.
- Koç Z., Demirel H., Kada M., Wichmann, A. (2017). 3b Bina Modellerinde Güvenlik Etkili Çoklu Detay Seviyesinde Modelleme. *Harita Dergisi*, (157).
- Koç, Z. (2016). ENGINEERING AND TECHNOLOGY (Doktora Tezi, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ).
- 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., Benner, J., Gröger, G., Häfele, K. H. (2013, June). 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.
- Löwner, M. O., Gröger, G. (2016). Evaluation Criteria for Recent Lod Proposals for City-GML Buildings. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 2016(1), 31-43.
- 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, April). Geleneksel Fotogrametri İle İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılan Kamera ve Sonuç Ürünleri Bakımından Karşılaştırılması. In *17th Turkey Scientific and Technical Conference* (Pp. 25-27).
- Neitzel, F., Klonowski, J. (2011). Mobile 3D Mapping with A Low-Cost UAV System. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 38, 1-6.
- Özdoğan, Ş. (2014). Bina Nesnelerinin Citygml Standardına Göre Lod2 ve Lod3 Ayrıntı Düzeylerinde Üç Boyutlu Modellenmesi.
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S., Raşit, U. L. U. Ğ. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2(3), 135-142.
- 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.
- Şener, E. İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi Yerleşkesinin Yüksek Çözünürlüklü Ortofoto Haritasının Hazırlanması. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 393-402.
- Sester, M. (2007, September). 3D Visualization and Generalization. In *Photogrammetric Week* (Vol. 7, Pp. 03-09).
- Stal, C., Lonneville, 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)*.
- 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.
- Uzar, M., Özemir, I. (2019). İHA İle 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, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ali, U. L. V. İ., Yaman, A., Bilgilioğlu, S. S. (2018). İnsansız Hava Aracı İle Ortofoto Üretimi Ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği. *Geomatik*, 3(2), 129-136.