

İHA Tabanlı 3 Boyutlu Verilere Farklı Perspektiflerde Bakış: İTÜ Ayazağa Kampüsü

Different Perspectives on UAV-Based 3D Data: ITU Ayazağa Campus

Semih Sami Akay^{1*} 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Semih Sami Akay
sami.akay@std.yildiz.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1195012

Yayın süreci

Geliş tarihi: 26.10.2022

Kabul tarihi: 13.12.2022

Basım tarihi: 28.03.2023

Özet

İnsansız Hava Araçları (İHA), diğer veri üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında son yıllarda maliyet, veri türü ve çözünürlüğü açısından avantajlar sağlamaktadır. Bu kapsamda, İHA verileri klasik ölçme veya haritalama amaçları dışında farklı sektörlerde, araştırmalarda ve platformlarda kullanılmaktadır. İHA verileri, fiziksel temas sağlanmadan sanal ve çevrimiçi platformlar gibi farklı ve yeni alanlarda katılımcılar ile yeryüzü arasında etkileşim sağlamaktadır. Üç boyutlu (3B) veriler, internet sitelerine, oyun motorlarına, animasyon uygulamalarına, masaüstü ve taşınabilir cihazlarda çeşitli uygulamalara entegre edilerek gerçek yeryüzü ile kullanıcılara farklı deneyimler sunabilmektedir. 3B veri paylaşım platformları, İHA tabanlı verilere doğrudan sahip olmadan her kullanıcıya gerçeğe yakın veri üzerinde ölçüm yapma, gezerek bilgi alma, 3B deneyim yaşama, çevrimiçi sosyalleşme ve görüşme kapsamlarında olanaklar sunmakta, alana ulaşım, erişim ve maddiyat konularında her kullanıcıyı ortak paydada buluşturmaktadır. Çalışmanın amacı, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü yüksek çözünürlüklü nokta bulutu ve 3B model üretilmesi ile bu verilerin sanal ve çevrimiçi platformlarda farklı perspektiflerde kullanımının gösterilmesidir. Kampüs verileri Metaverse (sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR)), çevrimiçi (bilgi ve gezinme platformu ve çevrimdışı (uçuş simülasyonu, katı model üretimi) gibi farklı uygulamalarda kullanılmak üzere farklı platformlara entegre edilmiştir. Kullanıcılar kampüse fiziksel temas olmadan gezebilmekte, bilgi alabilmekte, etkinlikler düzenleyebilmekte ve deneyim kazanabilmektedir.

Anahtar kelimeler: İHA, Fotogrametri, Metaverse, Nokta bulutu, 3 Boyutlu model

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) offer several advantages about cost, data type and resolution compared to other surveying methods. UAV-based data are used in research, and platform apart from classical surveying and mapping. UAV-based data has been used for various fields such as online and virtual environments to create interaction between participants and earth surface without physical contact. 3D data can be integrated into websites, games, animations, and various applications to provide experience for users about the real-world on desktop or mobile devices. 3D data platforms provide to measure, get information, live a 3D experience, socialize and meet, and it brings together users on a common ground in terms of transportation, access and materiality. The high-accuracy of point cloud and 3D model of Istanbul Technical University Ayazağa Campus with UAV-based were produced, and to show these data at different perspectives in the virtual and online environment. Data of campus were used in different application, which are Metaverse (virtual reality (VR), augmented reality (AR)), online (information, navigation), and offline (flight simulation, solid model). Users get information, experiences and tour around without physical contact.

Keywords: UAV, Photogrammetry, Metaverse, Point cloud, 3-Dimensional model

1. Giriş

Günümüzde, İHA'lar ile fotogrametrik ölçüm metodu doğrultusunda üretilen üç boyutlu model, nokta bulutu, sayısal yüzey modelleri ve ortomozaik veriler ile geniş çerçevede farklı çalışma alanları olduğu görülmektedir. İHA'lara entegre kamera sistemleri ile otomatik veya yarı otomatik olarak gerçekleştirilen uçuşlar ile elde edilen veriler, yüzeye ait yüksek görsel detaya sahip olması ile yersel ölçüm metodlarına göre birçok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, İHA'lar, yeryüzündeki objelerin gerçeğe yakın şekilde 3B modellerinin üretilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır. İnsan veya araç erişiminin zor veya tehlikeli olduğu çalışma alanlarında İHA'lar sahip oldukları kameralar ve LiDAR sistemleri ile elde ettikleri fotoğraf ve nokta bulutu verileri doğrultusunda yeryüzüne ait detaylı bilginin çıkarımına ve ölçüm yapılabilmesine olanak sağlayabilmektedir (Akay vd., 2022; Turner vd., 2016; Makineci, 2016). Farklı sensörlerin İHA'lara entegrasyonu ile yeryüzüne ait detaylı bilgi ve yüksek çözünürlüklü veri sağlama açısından İHA tabanlı yöntemler avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra İHA tabanlı elde edilmiş veriler yersel fotogrametri veya uzaktan algılama metodları ile elde edilen benzer özelliklere sahip veriler ile karşılaştırıldığında ise İHA tabanlı veri üretim süreçlerinin zaman ve maddi avantajlar sağladığı görülmektedir. Ayrıca İHA tabanlı veri temini sonucunda tek bir zamanda gerçekleştirilen ölçme işlemi ile farklı 2B ve 3B veri türlerinin üretimi sağlanabilmektedir. Harita üretim işlemleri kapsamında uzaktan algılama platformları ile İHA'lar karşılaştırıldığında düşük bütçe ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip veri temini sağlandığı görülmektedir. Ayrıca İHA'lar, bölgesel çalışmalarda da geleneksel metodlar ve uzaktan algılama platformlarına göre hava koşullarından (bulutluluk, yağmur vb.) daha az etkilenecek kısa zamanda düşük bütçe ve iş yükü ile yüksek çözünürlüklü veri temini gerçekleştirebilmektedir. Bununla birlikte, gelişmiş konumlandırma sistemleri olan Real Time Kinematic-Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) modüllerinin İHA'lara entegre edilmesi veya yersel Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ölçümleri ile entegreli olacak şekilde gerçekleştirilen İHA uçuşları ile yüksek doğruluklu ve yüksek mekansal çözünürlüğe sahip 3B modeller, sayısal yüzey modelleri (SYM) ve ortomozaik verilerin üretimi gerçekleştirilmektedir (Akay vd., 2017; Akay vd., 2022; Turner vd., 2016).

İHA'ların fotogrametri metodu ile kullanılması İHA fotogrametrisi terimini ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda, yüksek çözünürlük nokta bulutu, 3B model, sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik verilerin üretilmesi için İHA fotogrametri metodunda sıklıkça kullanılan Structure from Motion (SfM) yöntemi ile düzenli olmayan hava fotoğraflarındaki ortak noktalar eşleştirilerek veri üretim işlemleri gerçekleştirilmektedir (Snaveily vd., 2007; Özkaya vd., 2021). Bu teknik ile üretilen veriler ile uzunluk, alan, hacim ölçümlerinin yanı sıra yerleşim ve doğal alanlarda fiziki olarak erişimi olmayan bölgelerin görsel olarak sunumları da gerçekleştirilebilmektedir (Javernic vd., 2014; Jaud vd., 2016; Seki vd., 2017; Şasi ve Yakar, 2018). İHA'lar ile elde edilen veriler sonucunda doğa kaynaklı meydana gelen afetlerin, yapıların, morfolojik değişimlerin, kütle hareketlerinin, şehirlerin ve tarım arazilerinin izlenmesi, üç boyutlu modelleme, dijital ikiz uygulamaları, arkeoloji alanları, restorasyon ve mimarlık gibi birçok farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle İHA fotogrametrisi ile ortomozaik, sayısal yükseklik modeli, nokta bulutu verilerinin üretimi sonucunda elde edilen verilerin çeşitliliği aynı çalışmada birçok alan, uzunluk ve hacim ölçümleri ile farklı analizlerin de gerçekleştirilmesine olanak sunmaktadır (Salamí vd., 2014; Yakar vd., 2016; Ulvi, 2018; Ulvi vd., 2020; Ağca vd., 2020; Senkal vd., 2021; Akay vd., 2022; Özcan ve Özcan, 2021; Özcan vd., 2022; Levine ve Spencer, 2022; Maraş ve Nasery, 2023).

3B veriler, sanal gerçeklik (virtual reality - VR) ve artırılmış gerçeklik (augmented reality - AR) uygulamaları ile entegre edilerek kullanıcılar ile verilerin etkileşimi sağlanmaktadır. Bu deneyim, sanal ortamda bir bölgede gezilebilir olanağı ve başka bir yerde olma hissini verebilmektedir (Chang vd., 2015; Gerloni vd., 2018; Scaravetti ve Doroszewski, 2019). Sanal ortam deneyimlerinin sonucunda fiziksel temas kurmadan, gerçek ortam hakkında kavranan hisler yeni bir yaklaşım olan Metaverse kavramı kapsamında değerlendirilmektedir. Metaverse kavramı, fiziksel gerçekliğin dijital gerçeklik ile entegre edilerek kullanıcıların gerçek dünya dışında bir araya gelerek etkileşimde bulunmasını sağlayan dijital ortam olarak sunulmaktadır (Mystakidis, 2022). Yazılım tarafından üretilen verilerin, donanım ve çevrimiçi arayüzler ile gerçekçi bir sanal ortamda kullanıcılar ile etkileşime girmesi sağlanmaktadır. Üretilen veriler, Metaverse ile kullanıcılar akademisi, eğitim, endüstri ve oyunlar gibi çeşitli alanlarda farklı deneyimler sunabilmektedir (Chang vd., 2015; Halik ve Smaczyński, 2018; Gerloni vd., 2018; Scaravetti ve Doroszewski, 2019; Kalacska vd., 2021; Narin, 2021; Lee vd., 2021; Mystakidis, 2022).

İHA ile gerçekleştirilen uçuşlar sonrasında 3B model ve nokta bulutu verileri özelinde çalışmalar incelendiğinde doğal alanlarda, yapılarda, kültürel miras alanlarında modelleme, belgeleme, restorasyon ve röleve çalışmaları, 3B baskı, doğal afet simülasyonları, animasyonlar, oyunlar, sınıflandırma işlemleri ile bina ve yol çıkarımları, konumsal ve yükseklik ölçümleri gibi çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir (Ulvi ve Toprak, 2016; Ulvi vd., 2020; Hamal vd., 2020; Yang vd., 2021; Gallo vd., 2021; Berrett vd., 2021; Erdoğan vd., 2021; Rezaldi vd., 2021; Bayramoğlu ve Uzar, 2023). Yüksek doğrulukla elde edilen bu veriler sanal turlar gibi gezme uygulamalarında da kullanıldığı görülmektedir (Sefercik vd., 2021). İHA ile üretilen veriler, yersel lazer tarayıcı verileri ile entegre edilerek yüksek doğruluklu 3B modeller üretilmektedir. 3B modeller oyun motorlarına entegre edilerek farklı uygulamalar için farklı detay seviyelerinde kullanılabilir (Şenol vd., 2021; Andaru vd., 2019).

2.2 Veri Seti

Çalışma kapsamında, hava fotoğraflarının temini ile nokta bulutu, 3B model ve ortomozaik veri üretmek amacıyla 12MP çözünürlüğe sahip entegre kamerası bulunan ve yaklaşık 23 dakikalık uçuş süresine sahip DJI Phantom 3 Pro model İHA ile uçuşlar gerçekleştirilmiştir. İHA yaklaşık olarak 1.5 kg ağırlığında olmakla birlikte entegre GPS konumlandırma sistemleri ile fotogrametrik uçuş planlarının hazırlanması ile uçuşların gerçekleştirilmesine imkan sağlamaktadır. İHA ile gerçekleştirilen fotogrametrik uçuşlar sırasında elde edilecek hava fotoğraflarının örtüşme oranları uçuş planlama yazılımlarında belirlenmektedir. İHA uçuş planlamaları, verinin yer örneklem aralığına bağlı olarak uçuş yüksekliği, kamera odak uzaklığı, örtüşme oranları ve uçuş sürelerine göre planlanarak gerçekleştirilir. Bu parametreler, 3B modelleme ve haritalama işlemleri kapsamında yüksek çözünürlüklü veri üretmek veya acil durumlarda izleme ve yönetim kapsamında hızlı veri temini amacı gibi farklı amaçlara göre değiştirilebilmektedir (Nex ve Remondino, 2014). Bu çalışma kapsamında hava fotoğrafları arasındaki ortak bağlantı noktalarını eşleştirmek için yan ve ön örtüşme oranları % 90 olacak şekilde veri temini gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, İHA ile gerçekleştirilen fotogrametrik uçuşlar, yerleşke yönetiminden alınan izinler ve yasal sınırlar kapsamında yerden 100 m yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kampüste bulunan yüksek binalar, baz istasyonları, elektrik direkleri, uydu antenleri vb. çevresel faktörler dikkate alınarak en uygun İHA uçuş planları hazırlanarak uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, tüm kampüse ait verilerin elde edilmesi amacıyla 20 adet İHA uçuş planı ile uçuşlar gerçekleştirilmiştir. 2017 ve 2018 yılının ilkbahar ve yaz aylarında hava koşulları dikkate alınarak İHA uçuşları gerçekleştirilmiştir. İHA uçuşları sonucunda kampüse ait 8172 hava fotoğrafı elde edilmiştir.

Çalışma sırasında, yüksek doğrulukla veri üretimi amacıyla kampüs içerisinde yer kontrol noktaları (YKN) belirlenerek uçuşlarla eş zamanlı olarak RTK metodu kullanılarak yersel GPS ölçümleri ile YKN'lerin koordinat ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İHA'lar ile elde edilen hava fotoğraflarının işlenmesi öncesinde YKN'ler hava fotoğraflarında işaretlenerek sisteme entegre edilmiştir. Hava fotoğraflarının eşleştirilmesi ve bağlama noktalarının belirlenmesi ile az yoğun nokta bulutu üretimi gerçekleştirilerek sırasıyla yoğun nokta bulutu, 3B model ve ortomozaik verilerin üretimi tamamlanmıştır.

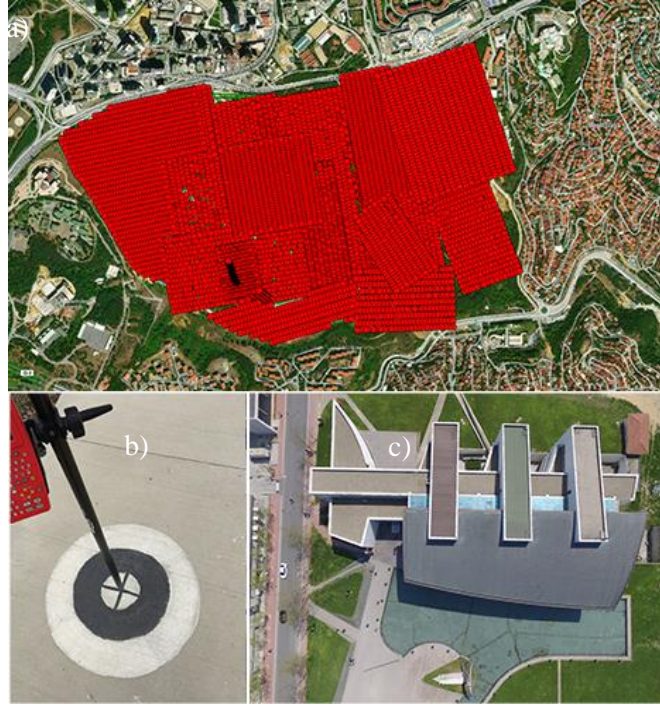
Son yıllarda yüksek çözünürlüklü veri setleri üzerinde büyük ölçekte çalışmayı düşük maliyetle mümkün kılan ve kullanıcılar açısından avantajlı fotogrametrik ölçüm metodu sağlayan Structure-from-Motion (SfM) tekniği kullanılmaktadır. SfM tekniği, gözdeki retina tabakasında oluşturulan iki boyutlu hareketli görüntülerden çevrenin üç boyutlu ortamının insanlar tarafından algılanmasına karşılık gelen biyolojik görüntü algılamasını simüle etmektedir. Bu teknik, görüntülerdeki nesnelerin kamera parametrelerini, konumlarını ve üç boyutlu geometrilerini otomatik olarak ayarlayarak üç boyutlu modellerin oluşturulmasını sağlayan görüntü tabanlı bir modelleme tekniğidir (Snaveily vd., 2007). SfM, fotogrametrik ölçüm işlemlerine dayalı olarak belirli bir örtüşme oranı ile farklı konumlarda çekilmiş bir dizi fotoğraftaki nesnelerin eşleştirilmesine dayalı olarak nesnelerin üç boyutlu olarak modellemesini sağlamaktadır. Görüntüler arasındaki ilişkileri bulabilmek için kenarlar, köşeler vb. özellikler örtüşmeli olarak çekilmiş fotoğraflarda belirlenmektedir. Son yıllarda ticari yazılımlar, SfM tekniği ile İHA'lardan elde edilen hava fotoğraflarının işlenmesini sağlayarak verilerin üretilmesini sağlamaktadır (Snaveily vd., 2007; Colomina ve Molina, 2012; Lucieer vd., 2014; Shervais, 2016).

İHA ile üç boyutlu yüzeylerin üretimi kapsamında; SfM fotogrametrik ölçüm adımlarından sırasıyla örtüşen görüntülerin eşleştirilmesi, yoğun nokta bulutlarının oluşturulması, yoğun nokta bulutu üzerinden üç boyutlu ağ modeli, üç boyutlu model ve ortomozaik üretim gerçekleştirilmektedir (Javernick vd., 2014; Woodget vd., 2015; Jaud vd., 2016). Bu kapsamda öncelikle ışın demeti dengelemesi ve kamera hizalaması yapılmaktadır. Örtüşmeli olarak temin edilen fotoğraf serilerinin düzeltilmesi için harici kamera parametreleri ve kamera kalibrasyon parametreleri hesaplanarak, seri olarak çekilen fotoğrafların örtüşen bölgelerinde ortak bağlantı noktaları tespit edilir ve eşleştirilmesi sağlanır. Eşleştirilmiş görüntüler üzerinden yoğun nokta bulutlarının üretilmesi için, yazılımdaki stereo fotogrametrik denklemler ile her bir bağlantı noktasının konumunun hesaplanması gerçekleştirilir. Farklı 3B modelleme çalışmalarında az yoğun nokta bulutu veya yoğun nokta bulutu verileri ayrı olarak kullanılmaktadır. Ortomozaik üretiminde, distorsiyonların kaldırılması ve yüksek hassasiyet ile verinin üretilmesi için yoğun nokta bulutu verisine ihtiyaç duymaktadır. Yoğun nokta bulutundaki noktalar ile üç boyutlu poligon ağ modeli oluşturulması ile ortomozaik verilerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Sayısal yüzey modeli ise düzensiz poligon ağ modelinin düzenli bir ızgara üzerinde interpolasyonu ile oluşturulmaktadır (Snaveily vd., 2007; Javernick vd., 2014; Nex ve Remondino, 2014).

SfM tekniğinden üretilen veriler konumlandırılmaları ve doğrulukları, İHA'lar üzerinde entegre olarak bulunan GPS sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. İHA uçuşları kapsamında havada fotoğraf çekimi sırasında fotoğrafların konumları, bu sistemler ile belirlenmektedir. Bu nedenle fotoğrafların konumsal doğruluğu bu sistemlerin konumsal hassasiyetlerine göre yaklaşık olarak hesaplanmakta ve üretilen verideki nesnelerin konumsal doğruluğu, gerçek konumlarına göre yaklaşık konumlar olarak hesaplanmaktadır. Konum doğruluğunun yüksek doğrulukla hesaplanabilmesi için YKN'ler veri üretim işlemleri sırasında yazılımlara entegre edilmektedir.

Çalışmada, yüksek doğrulukla veri üretebilmek amacıyla kampüs alanına homojen olarak dağıtımı gerçekleştirilen 35 adet YKN ile veri üretimi gerçekleştirilmiştir. YKN'lerin koordinat ölçümleri RTK metodu ile yersel GPS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen YKN noktalarının konumsal doğruluklarının 1.7 cm ile 3.3 cm arasında olduğu görülmektedir. YKN'lerin koordinat sistemi UTM projeksiyonu 35. Kuzey Dilimi, Datumu WGS 84'tür. Ölçümü gerçekleştirilen YKN'ler çalışmada elde edilen hava fotoğraflarında işaretlenerek sırasıyla nokta bulutu, 3B model ve ortomozaik verilerin üretim aşamaları gerçekleştirilmiştir.

İHA ile veri üretim süreci, kullanılan donanım ve yazılımlara göre değişiklik göstermektedir. İHA'lar ile temin edilen görüntü sayısı, veri üretim parametreleri ve donanım özellikleri veri üretim süresini etkilemektedir. Dolayısıyla İHA'lar ile temin edilen görüntü sayısı arttıkça donanımın sahip olması gereken bellek ve ram miktarının da artırılması önerilmektedir (Shervais, 2016; Akay vd., 2017).



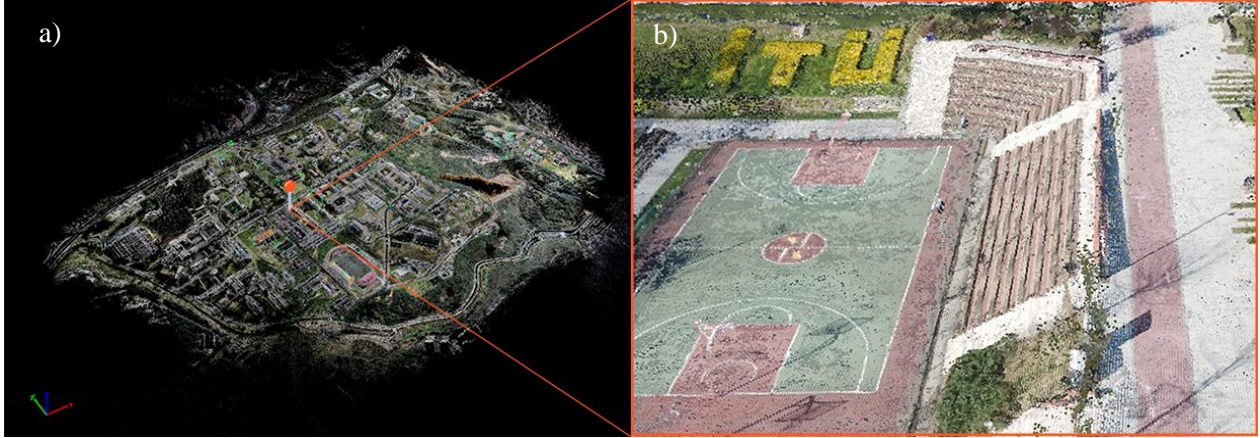
Şekil 2. a) İHA ile temin edilen hava fotoğraflarının gösterimi, b) yer kontrol noktasının gösterimi, c) İHA ile temin edilen hava fotoğrafının gösterimi

Çalışma kapsamında, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri bünyesinde bulunan Earth3Bee Lab. – 3 Boyutlu Yer Modelleme Laboratuvarı'nda veri işleme ve üretimi kapsamında kullanılan yazılım ve donanımlar kullanılmıştır. Laboratuvar bünyesindeki donanım, İHA'dan temin edilen tüm hava fotoğraflarının aynı anda işlenmesine olanak sağlayacak durumda olduğundan dolayı tüm görüntülerin tamamı aynı anda sisteme entegre edilerek veri üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. İHA uçuşları sonucunda elde edilen görüntülerin konumları Şekil 2'de gösterilmektedir.

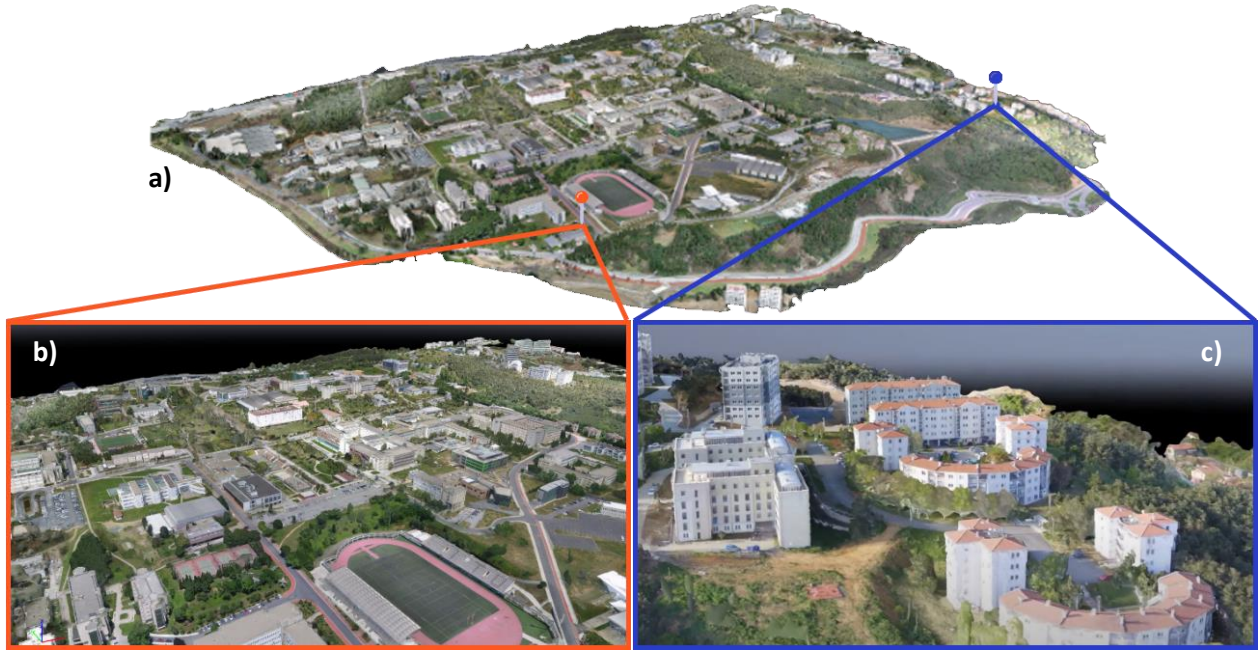
Gerçekleştirilen İHA uçuşları sonucunda, İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait 8172 adet hava fotoğrafı sisteme entegre edilmiş ve veri üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri üretimi için kullanılan mevcut sistem 128 GB RAM ve 1.276 TB depolama alanına sahip olmakla birlikte veri üretim süresi yaklaşık 72 saat sürmüştür. Veri üretim süreci sonucunda İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait yoğun nokta bulutu, 3B model ve ortomozaik veriler üretilmiştir.

Kampüse ait üretilen nokta bulutu verisi 270.390.128 nokta içermekle birlikte kampüs kapsamında 1m² alan içerisinde 160 nokta olarak görülmektedir. İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait yoğun nokta bulutu verisi ile spor alanını gösteren kesit Şekil 3'te görülmektedir.

Kampüse ait nokta bulutu verisi kullanılarak İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait 3B modelinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen 3B kampüs modeline ait kampüsün tamamını ve detaylı alanlarını Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 3. İTÜ Ayazağa kampüsü nokta bulutu verisi; a) İTÜ Ayazağa kampüsü, b) spor alanı



Şekil 4. İTÜ Ayazağa kampüsü üç boyutlu modeli; a) kampüsün üç boyutlu genel görünümü, b) fakültelerin ve İTÜ stadyumunun görünümü, c) lojmanların görünümü

İHA uçuşları sonucunda elde edilen hava fotoğrafları sonucunda ile üretilen ortomozaik verinin yer örnekleme aralığı (YÖA) 5 cm, karesel ortalama hata ise 0.211 pikseldir (Şekil 5). Nokta bulutu, üç boyutlu model ve ortomozaik verileri farklı büyüklükteki boyutları ile donanımların depolama alanlarında yer kaplamaktadır. Kampüse ait üretilmiş nokta bulutu, üç boyutlu model ve ortomozaik verileri sırasıyla 4.35 gigabyte, 2.90 gigabyte ve 1.93 gigabyte ile depolama alanında yer kaplamaktadır.



Şekil 5. İTÜ Ayazağa kampüsü ortomozaik verisi

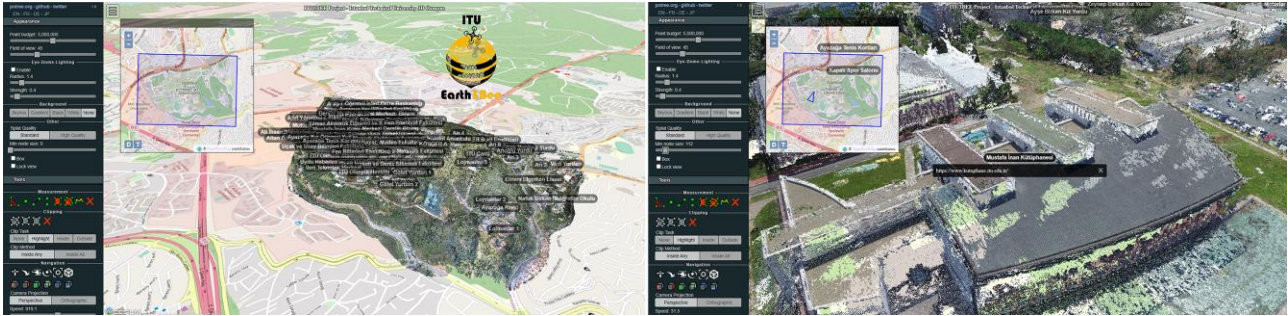
Çalışma kapsamında üretilen veriler farklı platformlar aracılığı ile kullanıcılara sunulmuştur. Öncelikle 3B kampüs modeli ile oyun motorları kullanılarak İTÜ öğrencilerinin erişimine açılacak bir oyun projesi tasarlanmış, fakat oyun motorlarına veri entegrasyonu sırasında 3B kampüs modelinin boyutunun ve model içerisindeki üçgen model sayısının yüksek olmasından dolayı gerçekleştirilememiştir. Sanal gerçeklik ve çevrimiçi platformlarda 3B kampüs modelinin sunulması sırasında oyun motorları ile benzer süreçler yaşandığı görülmektedir. 3B kampüs modelinin, oyun motorlarına ve metaverse platformlarına entegrasyonu sırasında 3B model düzenlenerek boyutu ve üçgen model poligonu sayısının düşürülmesi ile çözünürlüğünün düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla oyun motorlarına veri entegrasyonu sırasında 3B modellerin bir kısmının ya da sadece objelerin entegrasyonun gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Çalışmada, kampüsün tamamını içeren 3B nokta bulutu çevrimiçi platformda sunulmuştur. İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B model verisinin yüksek boyutu ve yüksek sayıdaki üçgen modeli poligonu nedeniyle metaverse, çevrimiçi ve çevrimdışı platformlar kapsamında bölgelere ayrılarak platformlara entegre edilmiştir. 3B kampüs modelinin, 3B yazıcı ile 3B katı modelinin çıktısı alınırken yazıcıların baskı özellikleri dikkate alınarak kampüs içerisinde bulunan kütüphane binasının çıktısı alınmıştır.

3. Üç Boyutlu Kampüs Modeli Uygulamaları

İHA'lar ile üretilen yeryüzüne ait veriler mimari, inşaat, tarım, orman, haritalama gibi birçok farklı amaç ve sektörde kullanılmaktadır. Veriler üzerinde noktasal konum ölçümlerinin yanı sıra hem yatay hem de düşey ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait üretilen veriler ile kampüs üzerinde gerçekleştirilecek çalışmalar için altlık bir veri seti üretimi gerçekleştirilmiştir. Üniversitelerde inşaat ölçümleri dışında gerçekleştirilecek konserler, yarışmalar vb. etkinlikler için uygun alanların ve bu alanların kapasitelerin belirlenmesi amacıyla uzunluk, alan, hacim ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte günümüzde pandemi sürecinde olduğu gibi kapanma durumları veya ulaşımdan kaynaklı yaşayacağımız fiziki erişimin olmadığı zamanlarda ise çevrimiçi ve sanal ortam platformları aracılığı ile kampüs üzerinde ölçüm, tanıtım veya gezi gibi çalışmaların ve aktivitelerin gerçekleştirilmesi de sağlanabilmektedir. Ayrıca, kampüse ait üretilmiş 3B model ve nokta bulutu verileri, üniversiteye ait öğrenci kulüplerinin düzenlediği oyun, etkinlik vb. amaçlarla kullanılabilir. Kampüse doğrudan erişim olmadan kampüs hakkında kampüs içi ulaşım, bölüm binaları, bina konumu, detaylı öznelikleri gibi bilgilere erişilebilmektedir.

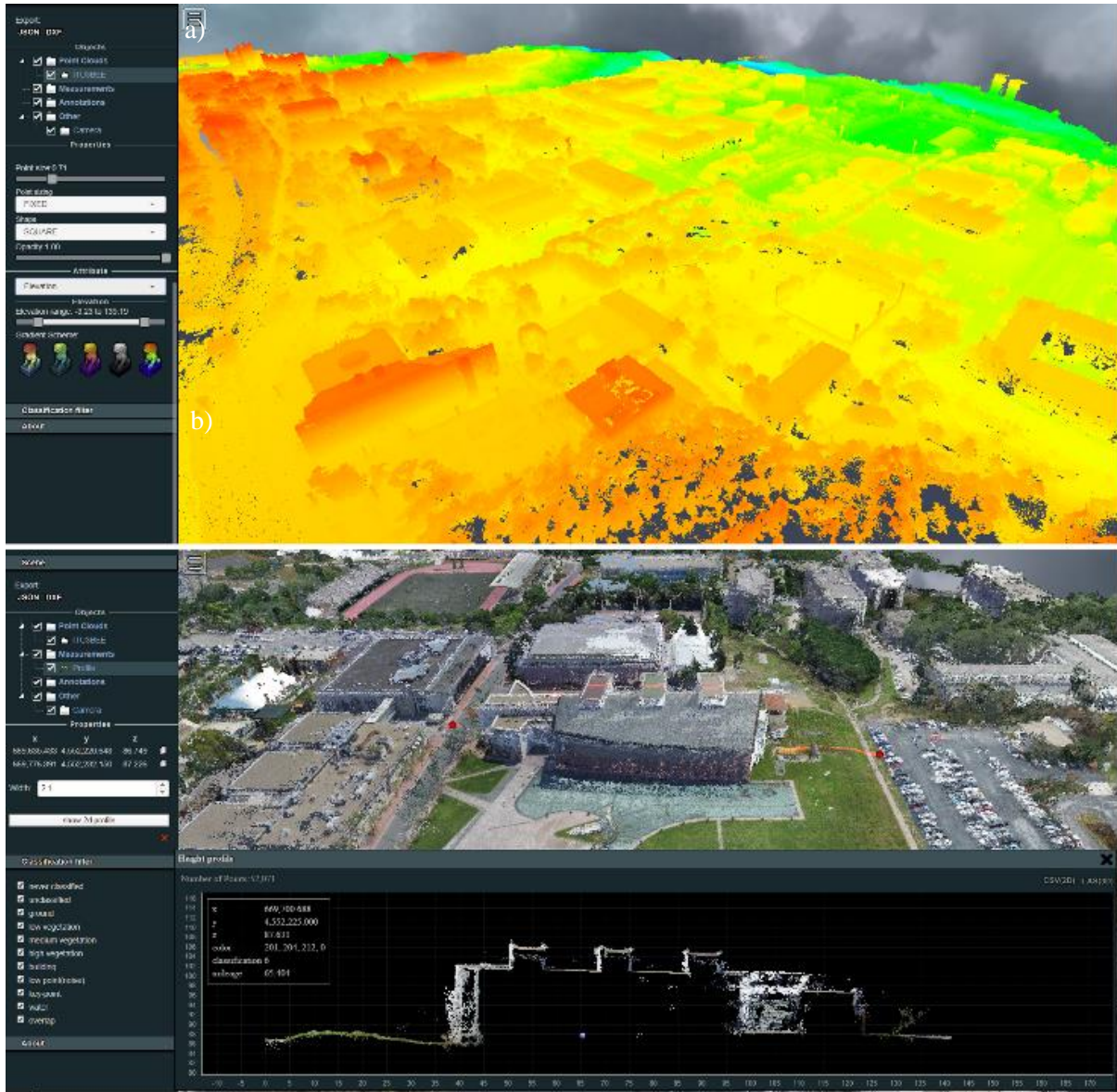
3.1 3B Model ve Nokta Bulutu Verilerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Platformlara Entegrasyonu

Gelişen teknoloji farklı özelliklere sahip veri türlerinin, farklı platformlarda kullanılmasına imkan sağlayabilmektedir. Bu kapsamda kullanılan yazılımların özelliklerine göre nokta bulutu ve 3B modeller için farklı veri türleri (.fbx, .obj, .mtl, .stl, .las, .laz, .dae vb.) kullanılmaktadır. Veri türleri içerdikleri doku, üçgen modeli poligonlarına ve model yapılarına (çizgi, poligon, katı model vb.) göre değişiklikler göstermektedir. 3B veriler, paylaşım platformlarının veri gösterim ve değerlendirme özelliklerine göre düzenlenebilmekte ve farklı veri formatlarına dönüştürülmektedir. Farklı formatlardaki veriler, yüzey dokusu bulundurma, katı model olarak düzenlenebilme ve baskı formatlarına uygunluk gibi değişiklikler göstermektedir. Uygun veri platformlarında paylaşımlar için 3B modellerin veri boyutlarında veya çözünürlüklerinde arttırma veya düşürme işlemleri gerçekleştirilmektedir. İHA ile veri üretim sürecinde verilerin kullanılacağı platformlara göre veri türlerinin seçimi ve üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle İHA ile üretilen verilerin boyutları ve özellikleri karşılaştırıldığında üç boyutlu modellerin, nokta bulutlarına göre daha yüksek boyuta, mevcut üçgen modeli poligonlarından ve dokularından dolayı kompleks yapıya sahip olduğu görülmektedir. Nokta bulutu verisi çevrimiçi platformlarda sunularak 3B veri üzerinde uzunluk, alan ve hacim ölçümleri gerçekleştirilmektedir. 3B veri üzerinde kesit alınabilmekte ve kesit içerisinde kalan noktaların yatay ve düşey konumları ile hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Çok zamanlı üretilecek 3B veriler ile çalışılan alanlarında değişim analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca üç boyutlu modellerin sunulduğu platformlardaki etiketleme özellikleri nokta bulutu platformunda kullanılarak kampüs hakkında detaylı açıklamalar yapılarak öznelik bilgilerinin gösterimi gerçekleştirilmektedir. Potree platformu, nokta bulutu verilerinin gerçek konumlarına ve veri üzerindeki objelerin özneliklerinin etiketlenmesi ile kullanıcılara çevrimiçi olarak sunulmasını sağlamaktadır (Potree, 2022). Bu kapsamda, İTÜ Ayazağa Kampüsü, çevrimiçi olarak açık kaynak 3B nokta bulutu görselleştirme platformu olan Potree platformuna entegre edilerek kullanıcıların erişimine açılmıştır (ITUBEE, 2022). 3B kampüs modeli çevrimiçi olarak herhangi bir mobil cihaz ile gezilebilmekte, detaylı bilgiler alınarak veri üzerinde ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Objelerin öznelik bilgilerinin 3B kampüs üzerinde görünümü (ITUBEE, 2022)

Nokta bulutu verileri üzerinde alınan kesitler ile yüzeydeki yükseklik değişimlerini ve objelerden kaynaklı farklılıklar görülebilmekle birlikte objelerin yüksekliklerinin ölçümleri de gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 7). Yol veya bina gibi objelerin yükseklikleri veya uzunlukları için nokta bulutu verisi üzerinde ölçümler gerçekleştirilmektedir. Yüzeyde çizilen bir kesit ile kesit doğrultusunda yataydaki uzunluk ve yükseklik değişimleri görülebilmektedir. Bir binanın yüksekliğinin belirlenebilmesi için benzer şekilde zeminden başlayan bir kesit, binanın yüksekliği boyunca çizilerek bina yükseklikleri ölçülebilmektedir. Ayrıca nokta bulutu verisi üzerinde yükseklik değerlerine göre yüzeyin sınıflandırılması ve gösterimi gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 7'de çevrimiçi platformda nokta bulutu verisinin yükseklik değerlerine göre gösterimi ile yüzey ve binaların yükseklikleri, bölgesel yükseklik değişimleri gibi bilgiler 3B olarak görülebilmektedir.



Şekil 7. Nokta bulutu verisinin çevrimiçi platformda sunumu; a) yüksekliklerin 3B olarak sınıflandırılarak gösterimi, b) 3B kampüs modeli üzerinde kütüphane binasının kesitinin gösterimi (ITUBEE, 2022).

Çalışma kapsamında İHA tabanlı üretilmiş 3B kampüs modeli farklı amaçlara öncülük edebilmesi amacıyla farklı platformlarda farklı amaçlarla kullanıcılara açılarak farklı deneyimler kazandırması amaçlanmıştır. Nokta bulutu verisinin kullanımına benzer şekilde 3B modellerin sunumlarını sağlayan platformlardan olan Sketchfab ve Cesium platformlarında 3B modellerin sunumu gerçekleştirilmektedir (Sketchfab, 2022; Cesium, 2022). Sketchfab ve Cesium platformları incelendiğinde, Sketchfab uygulaması kullanıcılara ücretsiz olarak belirli düzeyde bir modelin sunumuna imkan vermekle birlikte her iki platform için çalışma sırasındaki sürümlerinden dolayı düşük boyutlardaki modeller ve bölgeler çalışmada kullanılmıştır. İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modeli, örnek model gösterimlerinin sunulması amacıyla bölgelere ayrılarak Sketchfab ve Cesium platformuna entegre edilerek sunum gerçekleştirilmiştir.

Sketchfab platformu, düşük veri boyutundaki 3B modellerin ücretsiz, yüksek veri boyutundaki 3B modellerin ise ücretli olarak kullanıcılara çevrimiçi ve VR ortamında sunulmasını sağlayan bir platformdur (Sketchfab, 2022). Sketchfab platformu ile çevrimiçi olarak sunulan 3B kampüs modelleri üzerinde üniversiteye ait fakülte, idari, yurt, lojman, teknokent binaları ve stadyum gibi yapılar model üzerinde etiketlenerek bilgi verme amaçlı öznitelikleri gösterilmektedir. Çevrimiçi ortamda üç boyutlu kampüs modeli üzerinden gezilmesi ile üniversiteye ait detaylı bilgiler elde edilebilmektedir (Şekil 8). Üniversite tercihleri, fakülte, yurt bilgisi gibi aday öğrencilerin dikkatini çekebilecek veriler sunularak üniversitenin ilgi görmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca öğrencilerin ilgi noktaları belirlenerek fakülte, kafe, spor vb. noktaların özniteliklerinin çeşitlendirilmesi ile detaylı bilgiler aktarılabilir.



Şekil 8. Objelerin öznitelik bilgilerinin 3B kampüs üzerinde görünümü (Sketchfab, 2022)

Cesium platformu 3B verilerin gerçek konumları ile dünya üzerinde gösterilmesini sağlayan, çeşitli uygulamalar ile entegrasyonu sağlanarak veriler üzerinde animasyon ve simülasyonların gerçekleştirilebildiği açık kaynak kodlu bir platformdur (Cesium, 2022). Çalışma kapsamında, mevcut donanım ve model özelliklerinden dolayı Cesium platformuna 3B modellerin entegrasyonu sırasında modeller düşük veri çözünürlüğü ile platforma entegre edilmiştir. Bu kapsamda, 3B kampüs modelinin tamamının platforma entegrasyonu gerçekleştirilemediği için İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modeli üzerinde bulunan İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi 3B modeli ile İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 3B modelleri ayrı olacak şekilde Cesium platformuna entegre edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. a) Cesium platformunda, 3B modellerin gerçek konumları ile uydu görüntüsü üzerinde gösterimi, b) İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü ve c) İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi (Cesium, 2022)

Çevrimdışı platformlara entegre edilen 3B modeller sabit bir donanımda çevrimiçi platformlar gibi farklı uygulamalar aracılığı ile bilgi verebilmektedir. Bunun yanı sıra ise 3B modeller özellikle eğitim kapsamında da kullanılabilirliği görülmektedir. Uçuş eğitimleri kapsamında, İHA uçuş eğitimlerinin simülasyonlara entegre edilebilecek bir bölgeye veya objeye ait 3B model etrafında gerçekleştirilmesi, İHA pilotlarının uçuş kabiliyetlerinin artırılmasını sağlayabilecektir. Bu kapsamda, İHA pilotlarına ve adaylarına farklı İHA uçuşlarının İHA kumandası ile deneyimlenmesini ve pratik kazanılmasını sağlayan uçuş simülasyon platformu olan DJI Flight Simulator ile çalışma gerçekleştirilmiştir (DJI, 2022).

Üniversitede gerçekleştirilebilecek eğitimler düşünülerek, İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modeli DJI Flight Simulator platformuna entegre edilerek İHA kumandası ile İHA uçuşlarının kampüs üzerinde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla İHA pilotları yeryüzünde bulunan ağaç, elektrik direği, bina vb. objelere dikkat ederek uçuşlarını gerçekleştirmekte ve kabiliyetlerinin artırılmasını sağlamaktadır. Şekil 10'da İHA uçuş simülasyonuna entegre edilmiş İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modeli üzerinde İHA kumandası ile İHA uçuşları gerçekleştirildiği görülmektedir.



Şekil 10. Kampüs 3B modelinin İHA uçuş simülasyonunda görünümü (DJI, 2022)

3.2 3B Modelin Metaverse ve Sanal Ortam Platformlarına Entegrasyonu

Günümüzde ise İHA'lar ile üretilen modellerin sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ortamlarında Metaverse kavramı doğrultusunda çeşitli ücretli ve ücretsiz platformlar aracılığı ile 3B modeller üzerinde gezilebilmekte ve ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Çalışmada, Metaverse kavramı doğrultusunda fiziksel gerçeklik ile dijital gerçekliğin bir arada sunulduğu platformlarda, İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait 3B model kullanıcılara açılacak şekilde entegre edilmiştir. Sanal gerçeklik ya da artırılmış gerçeklik ortamlarında genellikle çizimler ile üretilen ve daha az sayıda poligona sahip 3B modellerin kullanıldığı görülmektedir. İHA'lar ile üretilen 3B modeller üçgen modeli poligon sayısının fazla ve doku boyutunun yüksek olmasından dolayı bu ortamlarda sunulmalarında kısıtlamaların meydana gelebileceği görülmektedir. Bu nedenle 3B model üzerinde doku ve poligon boyutunda düzenlemeler yapılarak veri çözünürlüğünün düşürülmesi veya modelin bir kesitinin sunulması gerekebilir.

3B veriler sahip oldukları yüzeylerden dolayı sanal uygulamalara entegre edilebilirken, nokta bulutu verileri ise herhangi bir yüzeye sahip olmadığından dolayı sanal platformlara entegre edilerek kullanılamamaktadır. Bununla birlikte yüzey dokusu ve poligon yapısından dolayı sanal platformlara 3B modellerin entegrasyonunda ise modellerin düzenlenerek veya modelin bir kısmının entegre edilmesi gerekmektedir.

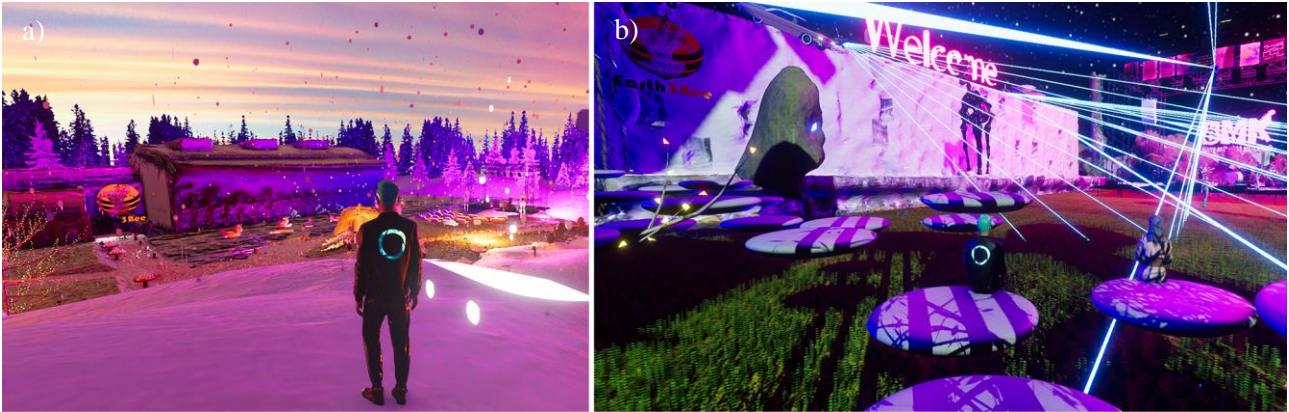
VR uygulamaları kapsamında 3B kampüs modeli çevrimiçi platformlarda sanal gerçeklik gözlüğü ile kampüs üzerinde gezinerek 3B model üzerinde bulunan yapılara ve objelere etiketlenen bilgiler ile kampüse ait bilgiler görülebilmektedir. Ayrıca yurt, fakülte binalarının konumları, binalar arasındaki mesafeler, kampüs içi ulaşım hakkında bilgiler elde edilebilmektedir.

Sketchfab platformu, 3B modellerin ekran üzerinde gezinebilmesine olanak verdiği gibi sanal gerçeklik gözlüğü ile VR ortamında modellerin gezinebilmesine imkân sunmaktadır. Bu kapsamda, Sketchfab platformuna entegre edilen İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modellerinin, sanal gözlük ile gezilebildiği ve kampüs hakkında bilgi sağladığı görülmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. 3B kampüs modelinin sanal gerçeklik ortamında görünümü (Sketchfab, 2022).

3B modeller kullanıcılara gezinerek bilgi vermenin dışında farklı uygulamalarda, etkinliklerde veya aktivitelerde kullanılabilir. İTÜ Ayazağa Kampüs 3B modeli sanal etkinliklerde (sinema, konser, mezuniyet, kış, mezuniyet vb. etkinlikler) kullanılabilir. Pandemi sürecinde çevrimiçi ortamda gerçekleştirilen etkinliklerin arttığı ve Metaverse kavramının kullanım alanlarının geliştirildiği görülmektedir. Metaverse kavramı kapsamındaki Sansar platformu, hazır olarak sunduğu 3B sanal ortamlarda, tasarlanmış veya İHA ile üretilen 3B modeller üzerinde etkinlikler gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır (Sansar, 2022). Bu kapsamda, sanal etkinliklere imkân sunan sosyal sanal gerçeklik platformu olan Sansar platformuna İTÜ öğrenci kulüplerinin etkinlikleri kapsamında 3B kampüs modeline ait çeşitli 3B bina modelleri entegre edilmiştir. İTÜ öğrenci kulübü etkinliklerinden olan sinema günü, konser ve toplantı etkinlikleri çevrimiçi olarak sanal gerçeklik ortamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 12’de Sansar platformunda, İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi 3B modelinde kış ortamı düzenlemeleri yapılarak konser etkinliği ve İTÜ Merkezi Derslik Binası (MED) 3B modeli üzerinden gerçekleştirilen sinema etkinliği görülmektedir. Bu etkinliklerde kullanıcılar hem bilgisayar üzerinden hem de sanal gerçeklik gözlüğü kullanımı ile katılımlarını gerçekleştirebilmektedir. Her kullanıcı bir karakter ile etkinliklere katılarak etkinlikte film izleme, müzik dinleme, sohbet etme ve toplantı gerçekleştirme işlemlerini çevrimiçi olarak sanal gerçeklik platformunda gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 12. Sanal gerçeklik ortamında etkinliklerin gösterimi; a) İTÜ MED 3B modeli sinema etkinliği, b) İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi 3B modeli toplantı etkinliği (Sansar, 2022)

AR platformları, tasarlanan veya farklı metotlarla üretilen 3B modellerin kullanıcılara gerçek ortamda gösterilme olanağı sunmakla birlikte AR platformu olan Augment uygulaması, düşük boyuttaki verilerin ücretsiz olarak belirli sürede kullanıcılara sunulmasını sağlamaktadır (Augment, 2022). AR platformlarında da modellerin sahip olduğu yüksek üçgen modeli poligon sayısından dolayı verilerin görselleştirilmesinde hatalar verebileceği görülmektedir. Bu nedenle, İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait bilgilerin artırılmış gerçeklikte sunulabilmesi amacıyla kampüse ait farklı bölge ve binalar ayrı olarak düzenlenerek artırılmış gerçeklik platformlarına aktarılmaktadır. Bu çalışmada, İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi, İTÜ MED binası ve İTÜ Stadyumu'na ait 3B modelleri Augment uygulamasına entegre edilerek kullanıcılara sunulmuştur (Şekil 13). Kullanıcılar, buldukları ortama mobil artırılmış gerçeklik uygulamaları ile 3B modelleri ekran üzerinde gezdebilmekte, inceleyebilmekte ve bilgi alabilmektedir. Ayrıca artırılmış gerçeklikteki modelin boyutunu düzenleyebilmekte ve ölçekli üretilen bir modelin gerçek yüzeyde ne kadar yer kaplayabileceğini de bu uygulamalar ile gözlemleyebilmektedirler.

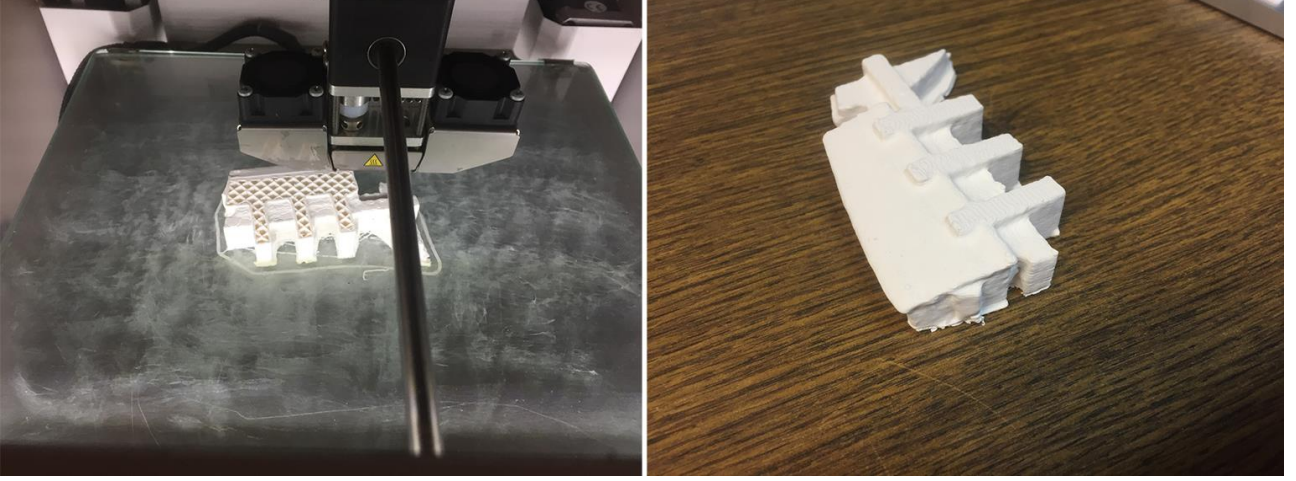


Şekil 13. 3B modellerin artırılmış gerçeklikte sunumu; a) İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi, b) İTÜ MED binası, c) İTÜ Stadyumu 3B modelinin artırılmış gerçeklikte sunumu (Augment, 2022)

3.3 İHA Tabanlı Veri ile 3B Katı Model Üretimi

Gelişen teknoloji ile artık 3B modellerin 3B yazıcılar ile çıktıları alınabilmektedir. İHA tabanlı üretilen 3B modeller yüksek çözünürlük ve doğruluklu veriler olmasından dolayı 3B katı modellerinin üretimlerinin gerçekleştirilebilmesi modelleme çalışmalarına farklı bir perspektif getirmektedir. Çizim programlarında binaların veya kampüs alanlarının modellerinin kalitesi, modellemeyi gerçekleştiren uzmanın tecrübe ve yeteneğine göre değişmektedir. Özellikle bina ve parça modellerinin için kullanılmakta olan bu teknolojiye İHA tabanlı üretilen verilerin entegrasyonu da gerçekleştirilmektedir.

Gerçeğe en yakın modelin üretilmesi kapsamında, İHA tabanlı 3B verilerin düzenlenerek katı modellerinin üretilmesi ve sunulması hem veri çözünürlüğü hem de modelleme zamanı ve maliyeti açısından avantaj sağlamaktadır. Bu kapsamda, İHA tabanlı İTÜ Ayazağa Kampüsü 3B modelinde bulunan İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi 3B modeli, 3B katı modelinin üretilmesi amacıyla düzenlenmiştir. 3B yazıcıların baskı boyutu ve süreleri dikkate alınarak kütüphane binasının 1/1.000 ölçekli modelinin Ultimaker 2+ Connect 3B yazıcı yüklenerek 3B katı model üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 14). Üretilen modeller reklam, sunum veya anı eşyası olarak tasarlanarak kullanıcılara iletilebileceği görülmektedir. Ayrıca tarihi yapıların üretilen dijital ikizleri meydana gelebilecek bir yıkım sonucunda gelişen 3B baskı teknolojisi ile yeniden inşa edilebileceği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 14. İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi 3B katı modelinin farklı açılardan görünümü.

Hızlı ve düşük maliyetli olarak İHA ile üretilen 3B veriler düzenlenerek birçok uygulamanın altlığı olarak kullanıcıların farklı platformlarda erişimi sağlanarak gerçeğe yakın bilgi alınması ve gezilmesi sağlandığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Son yıllarda İHA'lar genellikle harita uygulamaları ve çalışmaları kapsamında veri üretimi amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Gelişen teknoloji ile gerçeğe en yakın verinin İHA'lar ile iki ve üç boyutta elde edilmesiyle farklı birçok uygulamada verilerin değerlendirilebileceğini görülmektedir. Çalışmada, İHA uçşları sonucunda üniversite kampüsüne ait elde edilmiş farklı veri tiplerinin klasik haritalama uygulamaları dışında kullanımını gösterilmektedir. Ülkemizdeki ilk İHA ile kampüs çalışması olarak üniversite modellerinin oluşturulması kapsamında İTÜ Ayazağa Kampüsü'ne ait 3B modeli ve nokta bulutu verileri çevrimiçi platformlarda, farklı metaverse uygulamalarında erişime açılarak çevrimiçi ve sanal ortamdaki kullanıcılarla etkileşimi sağlamıştır. 3B katı model üretimi veya çevrimdışı platformlarda model sunumları ise kullanıcıların eğitim, gezme ve yapılar hakkında bilgi almak gibi farklı deneyimler yaşamasına olanak sağlayabilmektedir. Kampüs hakkında 3B yüksek çözünürlükteki görsel veri ile üniversite hakkında öznitelik, konum ve boyut gibi bilgilere erişim sağlanabilmektedir. Ayrıca İHA ile veri üretim süreçleri klasik veri üretim metodlarına göre daha hızlı ve güncellenebilir veriler sağlayabilmektedir. Dolayısıyla kampüse ait 3B veriler, zamansal olarak gerçekleştirilecek İHA uçşları ile hızlı bir şekilde güncellenerek sunulabileceği görülmektedir.

Günümüzde, Metaverse kavramı kapsamında geliştirilen platformlar doğrultusunda İHA tabanlı üretilen 3B verilerin farklı uygulamalara entegre edilebileceği görülmektedir. Bu kapsamda, yeryüzüne ait gerçeğe yakın bilgiler kullanıcılara sunulmakla birlikte yeryüzüyle dijital ortamda etkileşime girebilmeleri de sağlanmaktadır. 3B verilerin, metaverse kavramı doğrultusunda sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik uygulamaları, simülasyon platformları ve çevrimiçi uygulama gibi platformlarda sunulması ile kullanıcıların etkileşimi sonucunda gerçeğe en yakın deneyimin kullanıcılara kazandırılacağı ve doğru bilgiye hızlı erişimin sağlanabileceği görülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma ile farklı platformların İHA tabanlı 3B verilerin sunulmasına imkân verdiği görülmekle birlikte İHA tabanlı verilerin yüksek boyutlarına karşı olumsuz sonuçlar çıkarabildiği görülmektedir. Platformlarda bu verilerin sunulması için verilerin çözünürlüklerinin düşürülmesi ve verinin bir kısmının sunumun gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir. Bu platformlar için yeni veri üretim türü olan İHA'lar için gelişen teknoloji ile gelecekte güncellemeler ve geliştirmeler doğrultusunda İHA tabanlı bu verilerin yüksek hızda ve çözünürlükte kullanıcılara sunulacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada verilerin temini ve işlenmesinde İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü öğretim üyesi Doç. Dr. Orkan Özcan'a ve kurucusu olduğu Earth3Bee Lab. - 3 Boyutlu Yer Modelleme Laboratuvarı'na teşekkür ederim. Verilerin metaverse entegrasyonunda VRTLYN-Meta Architecture Platformu'na teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Ağca, M., Gültekin, N., & Kaya, E. (2020). İnsansız hava aracından elde edilen veriler ile kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi: Adam Kayalar Örneği, Mersin. *Geomatik*, 5(2), 134-145.
- Akay, S. S., Özcan, O., & Balık Şanlı, F. (2022). Quantification and visualization of flood-induced morphological changes in meander structures by UAV-based monitoring. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 27, 101106. doi: 10.1016/j.jestch.2021.05.020.
- Akay, S. S., & Ozcan, O. (2017). Volumetric Comparison of UAV-Based Point Clouds Generated from Various Softwares. In *International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences, 2017. Proceedings.* (pp. 243).
- Andaru, R., Cahyono, B. K., Riyadi, G., Istarno Djurdjani Ramadhan, G. R., & Tuntas, S. (2019). The combination of terrestrial LIDAR and UAV photogrammetry for interactive architectural heritage visualization using unity 3D game engine. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLII-2(W17), 39-44.
- Augment. (2022, Haziran 22). *Augment platform*. Retrieved from <https://www.augment.com>
- Bayramoğlu, Z., & Uzar, M. (2023). Performance analysis of rule-based classification and deep learning method for automatic road extraction. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 83-97.
- Berrett, B. E., Vernon, C. A., Beckstrand, H., Pollei, M., Markert, K., Franke, K. W., & Hedengren, J. D. (2021). Large-Scale reality modeling of a university campus using combined UAV and terrestrial photogrammetry for historical preservation and practical use. *Drones*, 5(4), 136. doi: 10.3390/drones5040136.
- Cesium. (2022, Haziran 22). *Cesium platform*. Retrieved from <https://cesium.com/platform/cesium-ion/>
- Chang, Y.L., Hou, H.T., Pan, C.Y., Sung, Y.T., & Chang, K. (2015). Apply an augmented reality in a mobile guidance to increase sense of place for heritage places. *Educational Technology & Society*, 18(2), 166-178.
- Colomina, I., & Molina, P. (2012). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- DJI. (2022, Haziran 22). *DJI simulator platform*. Retrieved from <https://www.dji.com/simulator>
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akin, E.S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- Gallo, I. G., Martínez-Corbella, M., Sarro, R., Iovine, G., López-Vinielles, J., Hernández, M., Robustelli, G., Mateos, R. M., & García-Davalillo, J. C. (2021). An Integration of UAV-Based Photogrammetry and 3D Modelling for Rockfall Hazard Assessment: The Cárcavos Case in 2018 (Spain). *Remote Sensing*, 13(17), 3450. doi: 10.3390/rs13173450.
- Gerloni, I. G., Carchiolo, V., Vitello, F. R., Sciacca, E., Becciani, U., Costa, A., ... & Tibaldi, A. (2018, September). Immersive virtual reality for earth sciences. In *2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2018. Proceedings.* (pp. 527-534). IEEE.
- İTÜ. (2022, Ekim 21). *Yerleşkelerimiz*. Retrieved from <http://tanitim.itu.edu.tr/kesfet/yerleskelerimiz>
- İTÜ Yeşil Kampüs. (2022, Ekim 10). *Yeşil kampüs*. Retrieved from <http://www.yesilkampus.itu.edu.tr/>
- ITUBEE. (2022, Haziran 22). *ITU3BEE sanal kampüs projesi*. Retrieved from <https://web.itu.edu.tr/ozcanork/ITU3BEE.html>
- Narin, N.G. (2021). A content analysis of the metaverse articles. *Journal of Metaverse*, 1(1), 17-24.
- Jaud, M., Grasso, F., Le Dantec, N., Verney, R., Delacourt, C., Ammann, J., Deloffre, J., & Grandjean, P. (2016). Potential of UAVs for monitoring mudflats morphodynamics (Application to the Seine Estuary, France). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(4), 50. doi: 10.3390/ijgi5040050.
- Javernick, L., Brasington, J., & Caruso, B. (2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using structure-from-motion photogrammetry. *Geomorphology*, 213, 166-182.
- Halik, Ł., & Smaczyński, M. (2018). Geovisualisation of relief in a virtual reality system on the basis of low-level aerial imagery. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 3209-3221.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B., & Ulvi, A. (2020). Using of hybrid data acquisition techniques for cultural heritage a case study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- Kalacska, M., Arroyo-Mora, J. P., & Lucanus, O. (2021). Comparing UAS LiDAR and Structure-from-Motion Photogrammetry for Peatland Mapping and Virtual Reality (VR) Visualization. *Drones*, 5(2), 36. doi: 10.3390/drones5020036.

- Laksono, D., Aditya, T., & Riyadi, G. (2019). Interactive 3D city visualization from structure motion data using game engine. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLII-4i(W16), 737-740.
- Lee, L.H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All one needs to know about metaverse: a complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *Journal of Latex Class Files*, 14(8), 1-66. doi: 10.48550/arXiv.2110.05352.
- Levine, N.M. & Spencer, B.F. Jr. (2022). Post-Earthquake Building Evaluation Using UAVs: A BIM-Based Digital Twin Framework. *Sensors*, 22(3), 873. doi: 10.3390/s22030873.
- Lucieer, A., Turner, D., King, D.H. & Robinson, S.A. (2014). Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture microtopography of Antarctic moss beds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, 53-62.
- Makineci, H. B. (2016). İnsansız hava araçları lidar etkileşimi. *Geomatik*, 1(1), 19-23.
- Maraş, E. E. & Nasery, N. (2023). Investigating the length, area and volume measurement accuracy of UAV-Based oblique photogrammetry models produced with and without ground control points. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 32-51.
- Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486-497.
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatic*, 6, 1-15.
- Özcan, O., Tari, U., Sunal, G., & Yalçın, C. (2022, May). Monitoring beachrock and low-altitude aerial photogrammetry-UAV in the northern coast of the Sea of Marmara, Turkey: A tool for coastal evolution and relative sea level change. In *24th EGU General Assembly, 2022*. doi: 10.5194/egusphere-egu22-5794.
- Özcan, O., & Özcan, O. (2021). Automated UAV based multi-hazard assessment system for bridges crossing seasonal rivers. *Smart Structures and Systems*. 27(1), 35-52.
- Özkaya, U., Makineci, H. B., Öztürk, Ş., & Orhan, O. (2021). Mozaiklenmiş insansız hava aracı görüntülerinde eksik bölgelerin örnekler iç boyaması ile elde edilmesi. *Geomatik*, 6(1), 61-68.
- Potree. (2022, Haziran 22). *Potree platform*. Retrieved from <https://potree.github.io/>
- Rezaldi, Y., Yoganingrum, A., Hanifa, N., Kaneda, Y., Kushadiani, S., Prasetyadi, A., Nugroho, B., & Men Riyanto, A. (2021). Unmanned aerial vehicle (UAV) and photogrammetric technic for 3D tsunamis safety modeling in Cilacap, Indonesia. *Applied Sciences*, 11(23), 11310. doi: 10.3390/app112311310.
- Rocca, R. (2021, March). Fault animation with 3D model integrating drone and satellite images. In *EGU General Assembly Conference, 2021. Proceedings*. doi: 10.5194/egusphere-egu21-8084.
- Salamí, E., Barrado, C., & Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11051-11080.
- Sansar. (2022, Haziran 22). *Sansar platform*. Retrieved from <https://www.sansar.com/>
- Scaravetti, D., & Doroszewski, D. (2019). Augmented Reality experiment in higher education, for complex system appropriation in mechanical design. *Procedia CIRP*, 84(2019), 197-202.
- Sefercik, U., Kavzoglu, T., Nazar, M., Atalay, C., & Madak, M. (2021). UAV-based 3D virtual tour creation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-4(W5-2021), 493-499.
- Seki, M., Tiryakioğlu, İ., & Uysal, M. (2017). Farklı veri toplama yöntemleriyle yapılan hacim hesaplarının karşılaştırılması. *Geomatik*, 2(2), 106-111.
- Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 81-89.
- Shervais, S. (2016). *Structure from Motion guide for instructors and investigators*. Retrieved from https://d320goqmya1dw8.cloudfront.net/files/getsi/teaching_materials/high-rez-topo/sfm_guide_instructors_investigators.v2.pdf
- Sketchfab. (2022, Haziran 22). *Sketchfab platform*. Retrieved from <https://sketchfab.com>
- Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2007). Modeling the world from internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*, 80(2), 189-210.
- Şasi, A., & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- Şenol, H.İ., Yiğit, A.Y., Kaya, Y., & Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36.
- Qin, R., Gruen, A., & Huang, X. (2012, November). UAV project-building a reality-based 3D model of the NUS (National University of Singapore) campus. In *33rd Asian Conference on Remote Sensing, 2012. Proceedings*. (pp. 26-30).
- Teke, T. (2016). *Unmanned aerial vehicle based visualization of deep excavations using game engines* (Doktora Tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114, 19-24.

- Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of Kanlıdivane Church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Ulvi, A. (2018). Analysis of the utility of the unmanned aerial vehicle (UAV) in volume calculation by using photogrammetric techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 43-49.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y., & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik rölöve çalışması ve 3boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yang, J., Yan, G., & Geng, P. (2021, February). Study on 3D printing based on UAV oblique photogrammetry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 676, 012010. doi: 10.1088/1755-1315/676/1/012010.
- Weißmann, M., Edler, D., & Rienow, A. (2022) Potentials of low-budget microdrones: processing 3d point clouds and images for representing post-industrial landmarks in immersive virtual environments. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, 886240. doi: 10.3389/frobt.2022.886240.
- Woodget, A.S., Carbonneau, P.E., Visser, F., & Maddock, I. P. (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landform*, 40(1), 47-64.