

Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği (Comparative Analysis of the Accuracy of Photogrammetric Techniques in the Documentation of Archaeological Sites: A Case Study of Konya Yunuslar)

Yunus KAYA¹, Abdurrahman Yasin YİĞİT², Ali ULVİ³, Murat YAKAR²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

³Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı
yunuskaya@harran.edu.tr; (ayasinyigit, aliulvi, myakar)@mersin.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 21.05.2020

Kabul Tarihi (Accepted): 04.01.2021

ÖZ

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum, tarih boyunca birçok medeniyeti bünyesinde barındırmıştır. Bundan dolayı bu topraklar üzerinde yaşamış çeşitli medeniyetlere ait azımsanmayacak sayıda somut kültürel miras hâlâ varlığını sürdürmektedir. Bu kültürel miraslar zamanla doğal ya da doğal olmayan sebeplerden dolayı tahribatlara maruz kalmaktadır. Bu eserlerin istenilen şekilde korunabilmesi için yapılması gereken ilk ve en önemli adım eserlerin dokümantasyonunun yapılmasıdır. Dokümantasyon çalışmalarının hızlı ve güvenilir şekilde tamamlanabilmesi için teknolojiye dayalı olarak büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma; Müzeler Genel Müdürlüğü tarafından Konya ili Yunuslar mahallesinde yürütülen kazı çalışmasında bulunan yaklaşık 1400 yıllık tarihe sahip taban mozaiklerinin ve arkeolojik alanın dokümantasyonu için yersel lazer tarayıcı, sayısal el kamerası ve insansız hava aracından (İHA) elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Çalışma sonunda yoğun nokta bulutu verilerinden yararlanılarak kazı alanının dokümantasyonu yapılmıştır. Dokümantasyon sonucunda kullanılan farklı veri toplama tekniklerinin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kazı alanı üzerinde belirlenen 18 noktaya ait koordinat değerleri her üç yazılımda da hesaplanmıştır. Lazer tarama verilerinin işlendiği "Scene" yazılımında 3.65 cm, "Photomodeler UAS" ve "Agisoft PhotoScan" yazılımlarında ise sırasıyla 4.64 ve 4.02 cm konum hatası belirlenmiştir. Lazer tarama teknolojisi yeni bir teknoloji olmasına rağmen konum doğruluğu bakımından diğer tekniklere göre üstünlük sağlamaktadır. Maliyet açısından düşünüldüğünde ise yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi lazer tarama tekniğine oranla daha düşük maliyetli ve veri işleme aşaması daha kısa sürede tamamlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arkeoloji, Kültürel Miras, Dokümantasyon, Hibrit Teknikler, Nokta Bulutu, Yersel Lazer Tarama, Yersel Fotogrametri, İHA

ABSTRACT

Turkey has hosted many civilizations throughout history. Therefore, many concrete cultural heritage of various civilizations that lived on these lands still exist. These cultural heritages are exposed to destruction

over time due to natural or unnatural reasons. The most important step to be taken in order to protect these works as desired is the documentation of the works. Technology must be used to complete documentation works quickly and reliably. This study includes the documentation of the excavation work carried out in the Yunuslar neighborhood of Konya. In the excavation area, there are floor mosaic and other archaeological details with a history of about 1400 years. For the documentation of the archaeological site, the data obtained from the terrestrial laser scanner, digital hand camera and unmanned aerial vehicle (UAV) were used. At the end of the study, a documentation study was carried out using the dense point data of the excavation site. Accuracy comparison of different data collection techniques used from the documentation result was made. As a result of the study, the coordinate values of 18 points determined on the excavation area were calculated separately from all three software. A 3.65 cm position error was determined in the "Scene" software where the laser scanning data was processed. In the "Photomodeler UAS" and "Agisoft PhotoScan" software, 4.64 and 4.02 cm position error was detected, respectively. Although laser scanning technology is a new technology, it provides superiority over other methods in terms of location accuracy. When it is considered in terms of cost, terrestrial photogrammetry and UAV photogrammetry are completed at a lower cost compared to laser scanning method and the data processing phase is completed in a shorter time.

Keywords: Archeology, Cultural Heritage, Documentation, Hybrid Techniques, Point Cloud, Terrestrial Laser Scanning, Terrestrial Photogrammetry, UAV

1. GİRİŞ

Kültürel ve doğal miras niteliğindeki yapı ve alanlar bize tarihin farklı zamanlarında farklı medeniyetlerden ipuçları vermekte ve hatta destansı olayların izlerini yaşatmaktadır. Türkiye'nin bulunduğu coğrafya, tarihin tüm dönemlerinde çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır (Eskikurt, 2003; Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya, 2020). İnsanlığın varoluşundan bu yana yaşadığı alanda izlerini bırakma alışkanlığı, eski dönemlerde inşa edilen ve günümüzde hâlâ

varlığını sürdüren yapıları meydana getirmiştir (Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya, 2019).

Ayrıca bu miraslar, insanların tarih boyunca biriktirdiği deneyim ve geleneklerin sürekliliğini sağlamasının yanında geleceğin doğru planlanmasına da katkı yapmaktadır (Sekban, Aktarer ve Purçek, 2019; Doğan ve Arıkan, 2013). Ek olarak toplumlar, kültürel miraslarını ulusal kimliklerinin belirleyici unsurları olarak görmektedirler (Phinney, Horenczyk, Liebkind ve Vedder, 2001). Bu tür önemli anıtların korunması ulusal kimliklerin korunmasına eşdeğer kabul edilmektedir. Aslında toplumlar, bu değerleri kültürel mirasları olarak benimsemek için bu unsurların kökeni üzerine bilimsel araştırma faaliyetlerine girişmişlerdir (Ulvi ve diğerleri, 2019).

Kültürel miraslar doğal ya da beşeri sebeplerden dolayı yok olma tehlikesi altındadır (Cömert, Avdan ve Şenkal, 2012; Tercan, 2017). Teknoloji ilerledikçe ve insanoğlu bilim üzerinde daha detaylı çalışmalar yaptıkça bu eşsiz alan ve yapılara olan ilgi artmakta ve onları korumak için yapılan çalışmalar günden güne gelişmektedir. Bu gelişmeler sonucunda ortaya çıkan en önemli çalışmalardan biri de kültürel eserlerin dokümantasyonudur. Tarihi eserlerin dokümantasyonunun yapılması ve sayısal ortama aktarılabilmesi için uzun yıllardır farklı ve çok sayıda teknik kullanılmıştır ancak şu ana kadar kullanılan hiçbir teknik fotoğraf çekmekten daha pratik çözümler sunamamıştır (Ulvi ve diğerleri, 2019).

Yapılan birçok kazı çalışmasında bulunan mozaik vb. hassas tarihi kalıntıların ortaya çıkarılması, temizlenmesi ve dokümantasyonun yapılması uzun süreçler almaktadır. Tarihi alanların kazı işlemleri yapılırken meydana gelebilecek olası doğal ve beşeri faktörler alanda tahribatlara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, hem kültürel mirasların ortaya çıkarılması hem de çıkarılan mirasın korunması ve belgelenmesi farklı disiplinler tarafından araştırma konusu olmaktadır.

Bir tarihi eserin korunması yapının görsel ve sayısal verilerinin elde edilmesiyle başlar. Yapıya veya alana ait görsel ve metrik değerler mümkün olduğunca hızlı ve yapıya zarar vermeyecek şekilde toplanmalıdır. Bu sebepten dolayı gelişen teknoloji koşullarının da yardımıyla tarihi eserlerin dokümantasyonunda çeşitli teknikler kullanılmaya başlanmıştır (Pakben, 2013; Mohammed, 2016; Gürleyen, 2020). Bu tekniklerden biri de çağımızın önemli teknolojilerinden olan lazer ışını ve fotoğrafın bütünleşik halde kullanılmasıdır. Bu

şekilde tarihi yapıya ilişkin çok sayıda veri yeterli hassasiyetle ve yapıya fiziki temas olmaksızın elde edilebilmekte ve gerekli yazılımlar yardımıyla objenin sayısal verileri ve 3 boyutlu (3B) modeli elde edilebilmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dokümantasyon çalışmalarında geleneksel teknikler yerini modern tekniklere bırakmaktadır (Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya, 2019; Şenol, Memduhoğlu ve Ulukavak, 2020). Modern ve teknolojik dokümantasyon teknikleri; deformasyonların tespitinde, tarihi yapıların ölçülüp çizilmesinde ve restorasyon projelerinin hazırlanmasında geleneksel tekniklere göre zaman ve maliyet yönünden avantaj sağlamaktadır. Teknolojinin bu alanda etkin kullanımı ile dokümantasyon tekniklerine yeni bakış açıları getirilmiştir. Özellikle sayısal platformlarda 3B model ile farklı dokümantasyon tekniklerinin kullanımı artmıştır.

Fotogrametri tekniği, eserin özelliklerini nesneye temas etmeden 3B olarak yeniden belirlemeye yarayan bir yöntem (Kraus, 2007; Ulvi ve Yiğit, 2020) olmasından dolayı dokümantasyon çalışmalarında da sıklıkla tercih edilmektedir. Bu noktada fotogrametri tekniği yıllardır arkeolojik ölçmeler, kültürel mirasın dokümantasyonu ve 3B modellenmesi uygulamalarında hızlı, verimli, ekonomik ve güvenilir bir biçimde veri sağladığı için etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Uslu, Polat, Toprak ve Uysal, 2016; Uslu ve Uysal, 2017; Şenol ve diğerleri, 2017; Zeybek ve Kaya, 2020).

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında kültürel mirasın dokümantasyonunda farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Sztwiertnia, Ochalek, Tama ve Lewinska (2019), yersel lazer tarayıcı ve fotogrametri yöntemini Yapı Bilgi Modelleme (YBM) yaklaşımıyla birleştirerek Kültürel Miras Yapı Bilgi Modellemesi (KMYBM) yaklaşımını öne sürmüştür. Poux, Billen, Kasprzyk, Lefebvre ve Hallot (2020) ise arkeolojik sit alanının sayısal yönetimi için 3B nokta bulutu veri setine dayanan KMYBM yaklaşımını önermişlerdir.

Shao ve diğerleri (2019), Çin'deki önemli kültürel miras türlerinden biri olan Huizhou tarzı antik mimari yapıların yaşlarını belirlemek için hiperspektral LIDAR kullanmışlardır. Gautier ve diğerleri (2020), LIDAR sistemlerine alternatif olarak düşük maliyetli derinlik algılama kameralarının doğruluklarını araştırmıştır. Brandolini ve Patrucco (2019), düşük maliyetli mobil cihaz kamerası ile farklı açılara sahip tarihi harita görüntülerinden SfM (Structure from motion/Hareketten yapı) tabanlı yazılımlar ile tarihi

alana ait ortofoto üretmiştir. Peña-Villasenin, Gil-Docampo ve Ortiz-Sanz (2019), SfM ve yersel lazer tarama teknolojilerini petroglifleri belgelemek için kullanmışlardır. Moyano, Nieto-Julían, Bienvenido-Huertas ve Marín-García (2020) ise kültürel mirasın yapı bilgi modellemesi ile belgelenmesi için yersel lazer tarama ve SfM yöntemlerinin geometrik doğruluklarını araştırmıştır. Frodella ve diğerleri (2020), Vardzia, Gürcistan'da bulunan Rupestrian kültürel mirasını modellemek için kızılötesi termografi ve İHA tabanlı sayısal fotogrametri tekniklerini kullanmışlardır. Randazzo ve diğerleri (2020), Güney Calabira'daki San Domenico kilisesinin hasar tespiti için fotogrametrik yöntemin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Peña-Villasenin, Gil-Docampo ve Ortiz-Sanz (2020), tarihi bir bina cephesinin modellenmesi için "Agisoft Photoscan", "Pix4D" ve "Autodesk Remake" yazılımlarının performansını karşılaştırmıştır.

Fotogrametri tekniği ile elde edilen sonuç ürünler sayesinde kazı sezonları arasında veya kazı sezonu tamamlandıktan sonra yararlanabilecek bilgi kaynağı elde edilebilmektedir. Arkeolojik alanlarda ortaya çıkan mozaikler bir sezondan diğerine çok kolay değişime uğrayabilmektedir. Bu nedenle dokümantasyon, koruma çalışmalarının gerçekleştirilmesinde de önemli bir araç niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı ileri belgeleme araçlarından biri olan fotogrametrik tekniklerin

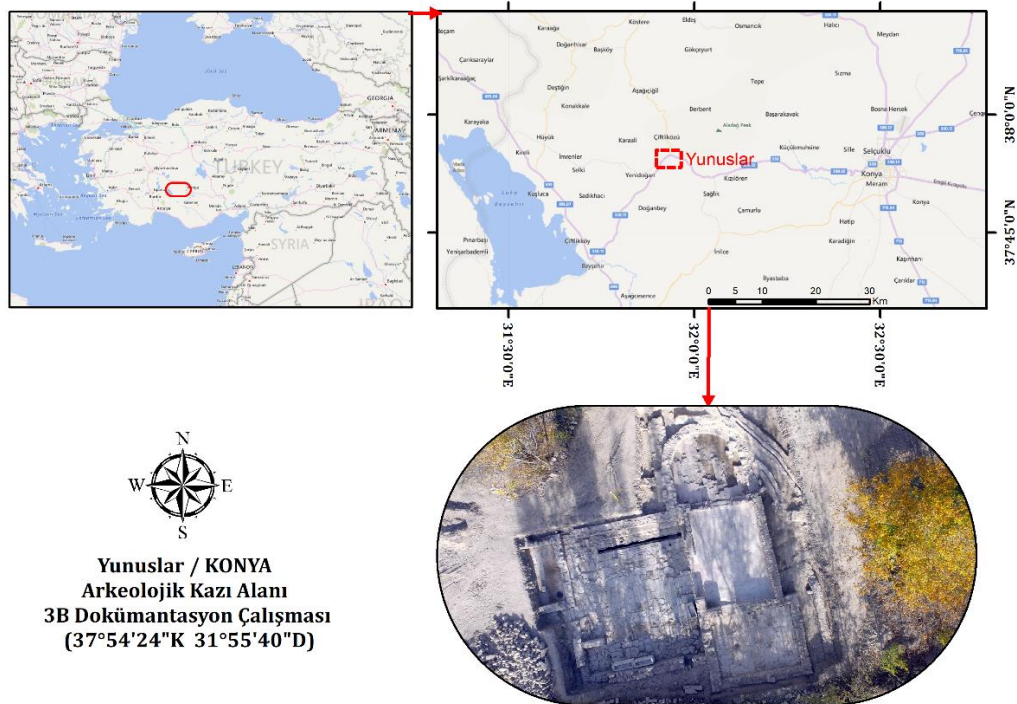
arkeolojik kazı alanlarında kullanımını araştırmaktır. Çalışmada bu amaç doğrultusunda hem yersel lazer tarayıcı ile hem de İHA ve yersel fotoğraflar kullanılarak 3B nokta bulutu ve 3B model üretilmiştir. Çalışma sonunda üç farklı veri toplama tekniği ile elde edilen sonuç ürünlerin doğruluk araştırılması yapılmıştır.

Bu makale 25-27 Nisan 2019 tarihinde Aksaray'da yapılan 10. TUFUAB Teknik Sempozyumu'nun Tam Metin Bildiri Kitabında yayımlanan (s. 70-76) "Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunun Yersel Lazer Tarama ve İHA Teknikleri ile Elde Edilmesi: Konya Yunuslar Örneği" başlıklı bildiriden hazırlanmıştır (Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya, 2019).

2. MATERYAL METOT

a. Çalışma Alanı

Çalışmada nokta bulutu ve 3B modeli üretilen kazı alanı, Konya-Beyşehir arasında, Konya il merkezine 60 kilometre, Beyşehir ilçe merkezine 30 kilometre uzaklıkta Yunuslar Mahallesi'nin merkezinde bulunan bir alandır (Şekil 1). Yapılan kazı alanına ilişkin mevcut kaynaklarda 'Konan' ismi geçmektedir. Daha önce yonca tarlası olarak kullanılan arazide, insan, hayvan figürleri ve kitabenin yer aldığı 1400 yıllık olduğu belirtilen taban mozaikler mevcuttur ("Konya'da 1400 Yıllık Aslan", 2016).



Şekil 1. Kazı Alanının Konumu.

b. Materyal

Çalışmada arkeolojik kazı alanına ilişkin geometrik veriler yersel lazer tarayıcı ve elektronik uzaklık ölçer ile, görsel veriler ise hem İHA hem el kamerası ile temin edilmiştir. Arkeolojik alanın dokümantasyon çalışmasında kullanılan cihazlara ilişkin detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

(1) Lazer Tarayıcı

Yeni nesil veri toplama tekniği olan lazer tarama teknolojisi, arazi detay noktalarının 3B olarak koordinatlandırılmasında oldukça kullanılan ve hassas bir tekniktir (Ulvi ve diğerleri, 2019).

Çeyrek asırdan bu yana, Yersel Lazer Tarama (YLT) tekniği; mühendislik yapıları, mimarlık, yer bilimi, trafik, maden ve peyzaj gibi pek çok alanda sayısal verinin temininde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. 3B üretilen veriler yüksek hassasiyet ve doğruluktadır (Uray, Varlık ve Metin, 2018; Zeybek ve Kaya, 2020).

Bu çalışmada lazer tarama işlemi "FARO Focus3D X 330" tarayıcısı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Lazer tarayıcıya ait temel özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. "FARO Focus3D X 330" ("Faro", t.y.).

Tablo 1. "FARO Focus3D X 330" Teknik Özellikleri ("Faro", t.y.)

Öznitelik	Değer
Lazer sınıfı	1
Ölçüm hızı	Saniyede
Mesafe	976,000 noktaya kadar
Mesafe hatası	0.6-330m
Mesafe hatası	± 2mm
Multi-Sensör	GPS, Pusula
Çift Eksenli Kompensatör	Yükseklik Sensörü
Entegre renkli kamera	Var
Boyut	70 mio. piksele kadar
Ağırlık	240 x 200 x 100mm
Tarayıcı kumanda	5,2 kg
	Dokunmatik ekran

(2) Elektronik Uzunluk Ölçer

Kazı alanında elde edilen verilerin anlamlı ve sağlıklı bir şekilde birleştirilebilmesi için arazinin karakteristik noktalarının ölçülmesi gereklidir. Aynı zamanda farklı tekniklerle toplanan verilerin karşılaştırılması için ortak bir koordinat sisteminde çalışılması gerekmektedir. Bu işlem için elektronik uzunluk ölçer (TOPCON KS-102 Elektronik Takeometre) kullanılmıştır (Şekil 3). TOPCON KS-102 teknik özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 3. TOPCON KS-102.

Tablo 2. TOPCON KS-102 Teknik Özellikleri

Özellik
Tek prizma ile 2300 m mesafe
Mesafe hassasiyeti 2mm + 2ppm
Çift taraflı klavye
IP54 Su geçirmezlik standardı
Yol programı
230 m reflektörsüz mesafe
Dahili 24.000 nokta hafıza
Tamamen Türkçe menü
Tek batarya kullanım süresi 14 saat
Detay alım (Koordinatlı, açısı mesafe)
En kesit & Alan hesabı

(3) Sayısal El Kamerası

Kazı alanının yersel fotogrametri tekniği ile dokümantasyonu ve 3B modelinin oluşturulabilmesi için çalışma alanının tamamını kapsayan bindirmeli fotoğraflara ihtiyaç vardır. Bu amaçla yer merkezli olmak üzere arazinin fotoğraf verilerinin toplanması için sayısal el kamerası kullanılmıştır (Şekil 4). Çalışmada kullanılan sayısal el kamerasına ait teknik bilgiler Tablo 3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. “Pentax Optio RZ18” fotoğraf makinesi (“Digicamb”, t.y.).

Tablo 3. “Pentax Optio RZ18” teknik özellikleri Digicamb. (“Digicamb”, t.y.)

Özellik	Değer
Toplam megapiksel	16.6
Maks. görüntü çözünürlüğü	4608 x 3456
Optik & sayısal yakınlaştırma	18x & Evet
Odak uzaklığı	25 - 450 mm
Maksimum açıklık	f3.5 - f5.9
Ağırlık	190g
Boyut	109x61x36 mm

(4) İHA

Özellikle yersel fotogrametri tekniği ile dokümantasyon ve 3B modelleme çalışmasında yer merkezli fotoğraf çekimlerinde çeşitli eksiklikler oluşmaktadır. Bu sebeple teknolojinin gelişmesi ile hemen hemen her alanda kullanılan İHA’lar yardımıyla havadan fotoğraf toplama işlemi bu eksiklikleri büyük ölçüde kapatmaktadır. Bu amaçla çalışma alanına ait havadan fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Çalışmada kullanılan İHA’ya ait teknik bilgiler Tablo 4’te gösterilmiştir.



Şekil 5. İHA ile hava fotoğrafların çekim anı.

Tablo 4. “Phantom 3 Professional” teknik özellikleri (“Dron market”, t.y.)

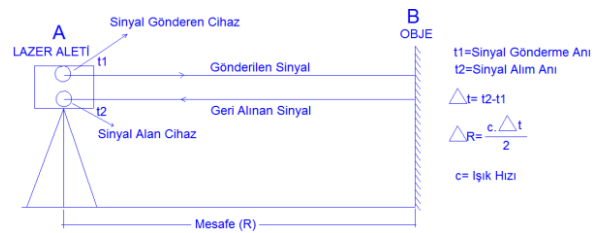
Özellik	Değer
Ağırlık	1.280 Gram
Maks. Hız (Tırmanış/İniş)	16 m/s & 5 m/s – 3 m/s
Kamera & Video	12.76 MP & 4K
Maks. İrtifa	6.000m
Uçuş Süresi	Yaklaşık 23 Dk
Çalışma Isısı	40 C
Navigasyon	GPS/GLONASS

c. Metot

Çalışmada üç farklı veri toplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden lazer tarama yöntemi ayrı başlık altında anlatılırken İHA ve yersel fotogrametri yöntemleri ise SfM mantığı ile çalıştığı için bir başlık altında anlatılmıştır.

(1) Yersel lazer tarama tekniği

Yersel lazer tarama tekniği objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3B koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir (Reshetyuk, 2009). Yersel lazer tarama teknolojileri, özellikle mühendislik projeleri ve kültürel mirasın kayıt işlemleri gibi alanlarda uygulama alanı bulmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004). Bu teknoloji, kültürel miras nesneleri için yüksek hassasiyetli 3B modellerin oluşturulması, nesne ile ilgili yüksek oranda detay içermesi, yüksek çözünürlüklü eşleşme, değişim izleme ve sunum imkânına sahip olduğu için kültürel mirasa ve arkeolojik alanlara yönelik yapılan çalışmalarda farklı amaçlar için kullanılabilir (Fabris ve diğerleri, 2009; Çelik, Hamal ve Yakar, 2020). Genel olarak bir lazer tarayıcıda; Lazer uzaklık ölçer, açı ölçüm birimi, lazer ışını saptırma birimi bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Tipik atımlı lazer telemetrenin çalışma prensibi (Ulvi ve Yakar, 2014).

Lazer verici kısa sinyaller yaymakta ve bu sinyaller iki bölümden oluşmaktadır. Sinyallerden biri alıcıya diğer objeye gönderilir. Otomatik Algılama kontrolü aracılığıyla zaman ölçme birimi çalışır. Genel olarak sinyalin şekli Gaussian

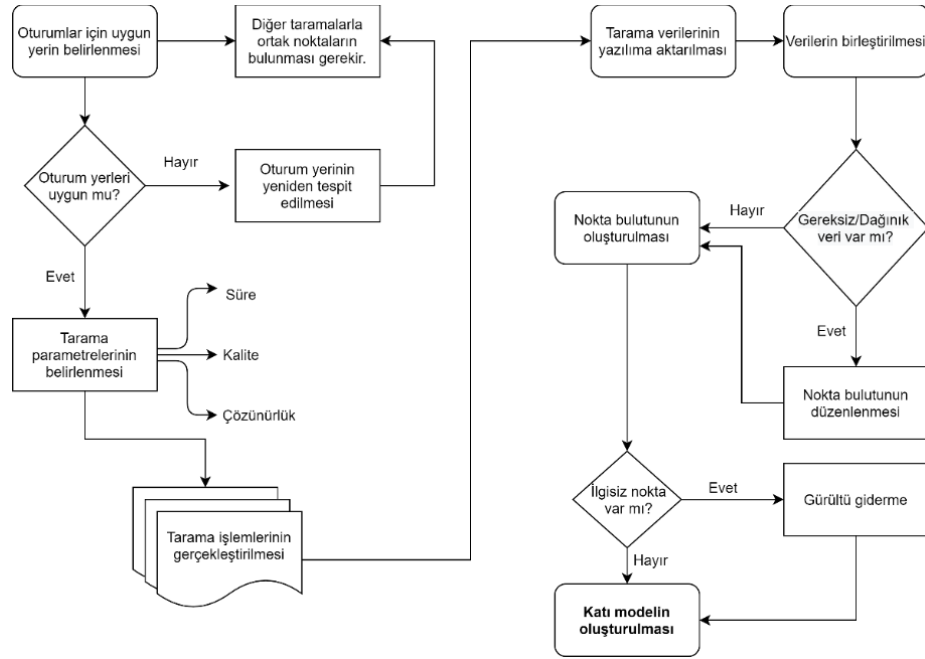
eğrisidir. Sinyal obje yüzeyine ulaştığında yüzey taranır ve lazer sinyali geri saçılır. Saçılan sinyallerin bir bölümü lazer tarayıcıya geri döner ve sinyalin ışımaya gücü elektrik akımına çevrilir. t zamanı 100 MHz gibi yüksek frekanslı asilatör saat ile sayısal sayım teknikleri kullanılarak belirlenir. Yersel lazer tarama iş akış şeması Şekil 7'de verilmiştir.

(2) Fotogrametri Yöntemi (Yersel ve İHA fotogrametrisi)

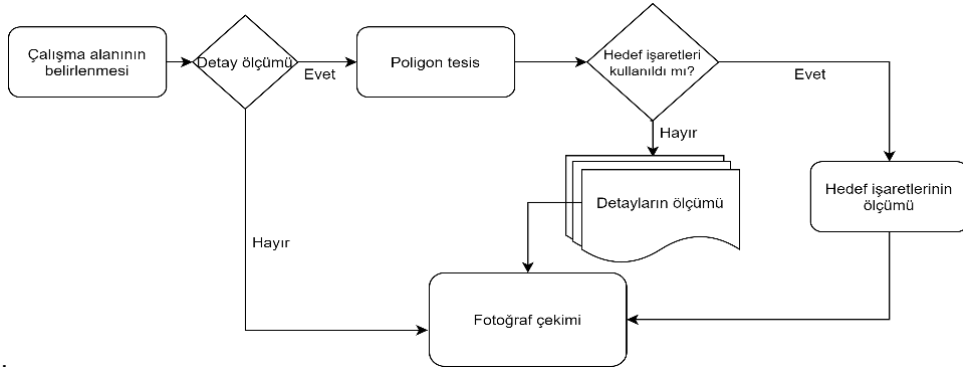
Fotogrametri; cismin bir veya birkaç fotoğrafından yararlanarak uzaydaki şeklini, boyutlarını ve konumunu incelikli olarak belirlemeyi amaç edinmiş bir bilim dalıdır. Fotoğraflar üzerinde yapılan ölçmelerde kullanılan

bu tekniğin en önemli özelliği cismin ayrıntılı olarak tam bir görünümünü vermesidir. Fotogrametri tekniğini kısaca iki boyutlu (2B) fotoğraflardan 3B model elde etmek olarak tanımlanabilmektedir.

Alım merkezinin yer üzerinde bir nokta olması durumunda uygulanan fotogrametrik tekniğe 'yersel fotogrametri' denir (Yakar ve Mohammed, 2016). Yersel fotogrametri ile veri toplama işlemi genellikle sayısal bir el kamerası ile gerçekleştirilmektedir. Yer merkezli, sayısal el kamerası ile çekilen fotoğraflarda genellikle eserin üst taraflarının fotoğraflık verilerinin eksik olduğu gözlemlenmiştir. Bu sorun; alçak irtifadan, insan hayatını riske atmadan uçabilen insansız hava araçları ile ortadan kalkmıştır. Yersel fotogrametri iş akış şeması Şekil 8'de gösterilmiştir



Şekil 7. Yersel lazer tarama iş akış şeması



Şekil 8. Yersel fotogrametri iş akış şeması

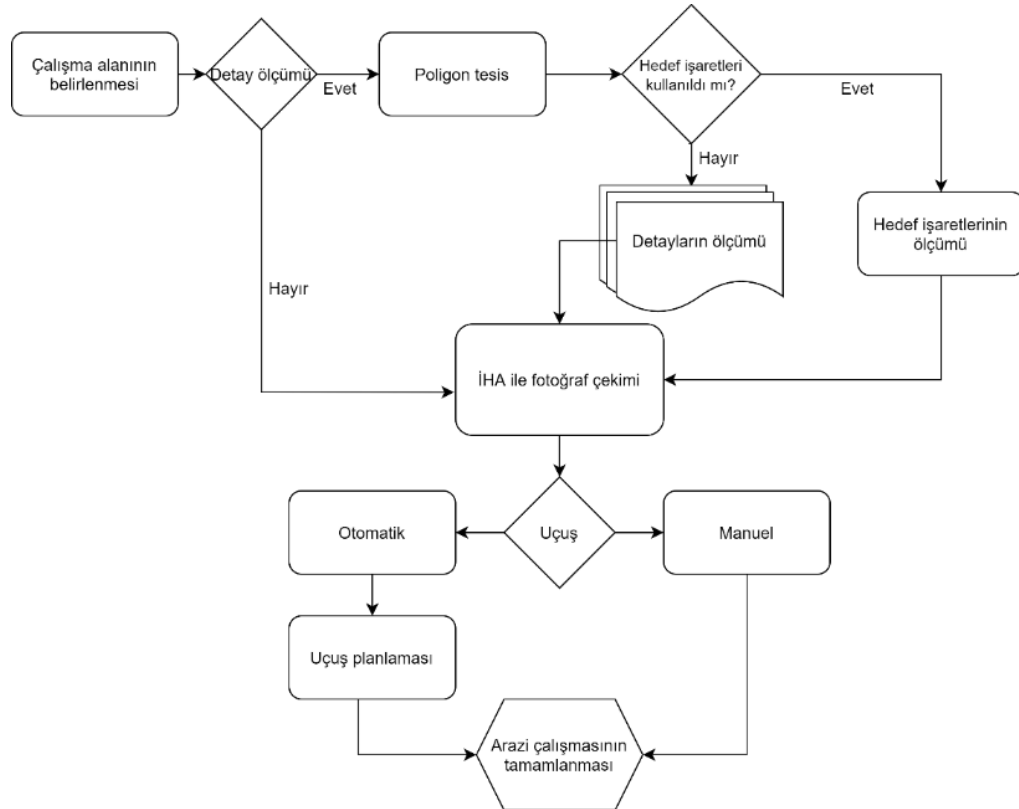
Fotogrametri yöntemi ile üretilen sonuç ürünleri yer merkezi ile aynı konuma getirmek için araziden detay ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca bu işlemin yapılmasının bir diğer sebebi farklı yöntemler ile üretilen ürünlerin aynı koordinat sisteminde kullanılmak istenmesidir. Bu sebeple çalışma alanının uygun noktalarına homojen dağılım olacak şekilde hedef işaretleri (yer kontrol noktası/YKN veya özel hazırlanmış levhalar) konulmalıdır. Eğer hedef işaretleri konulacak uygun alan bulunamıyorsa obje üzerindeki keskin veya belirgin (ayrıt etmesi kolay) detay noktalarından ölçümler yapılmalıdır. Bu işlem adımları İHA fotogrametrisi için de geçerlidir.

İHA'lar teknoloji ile birlikte gelişmeye devam etmiş ve birçok alanda kullanılmaktadır. İHA'nın tercih edildiği her alanda kullanıcıya birçok fayda sağlamaktadır. Bu faydaların en başında zaman ve maliyet gelmektedir. Fotogrametrik çalışmalarda kullanılacak İHA fotoğraflarından uygun modelin çıkarılabilmesi için uçuş esnasında dikkat edilmesi gereken durumlar mevcuttur. İHA ile yapılan arazi çalışması ve uçuşlarda izlenen aşamalar Şekil 9'da verilmiştir.

İHA ve yersel fotogrametri yöntemleri Hareketten yapı (structure from motion-“SfM”) prensibi ile çalışmaktadır. “SfM” tekniği birbirine

bindirmeli olarak farklı açılardan çekilmiş 2 boyutlu resimlerden 3B model elde eden fotogrametri tekniğidir. “SfM” fotoğrafların kamera parametrelerinin, pozisyonlarının ve görüntülerdeki obje üç boyutlu geometrilerinin otomatik olarak düzenlenmesini sağlayan görüntü temelli modelleme tekniğidir (Dellaert, Seitz, Thorpe ve Thrun, 2000; Chiuso, Favaro, Jin ve Soatto, 2002; Pavlidis, Koutsoudis, Arnaoutoglou, Tsioukas ve Chamzas, 2007; Bevan ve diğerleri, 2014; Koutsoudis ve diğerleri, 2014; Ulvi vd., 2020)

Literatürde, pek çok araştırma bu teknolojiyi yapısal jeoloji (Bemis ve diğerleri, 2014); enkaz akış dinamikleri (Cucchiari ve diğerleri, 2019); batık yüzeylerin incelenmesi (Woodget, Carbonneau, Visser ve Maddock, 2015; Dietrich, 2017); heyelan yer değiştirmesinin izlenmesi (Stumpf, Malet, Allemand, Pierrot-Deseilligny ve Skupinski, 2015; Turner, Lucieer ve de-Jong, 2015); açık ocak madencilik alanları (Chen, Li, Chang, Sofia ve Tarolli, 2015; Xiang, Chen, Sofia, Tian ve Tarolli, 2018); ve biyofiziksel orman veya bitki parametrelerinin çıkarılması ve izlenmesi (Zarco-Tejada, Diaz-Varela, Angileri ve Loudiani, 2014; Malambo ve diğerleri, 2018; Iglhaut ve diğerleri, 2019) gibi farklı amaçlar için kullanmıştır.



Şekil 9. İHA Fotogrametrisi iş akış şeması

3. UYGULAMA

Uygulama, arazi çalışması ve ofis çalışması olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması detay ölçümü, yerden ve havadan fotoğraf çekimi ve tarama işlemini kapsamaktadır. Ofis çalışması ise ölçülen detayların değerlendirilmesi, çekilen fotoğrafların dengelenmesi, modellenmesi; taramaların birleştirilmesi ve yorumlanması kısmından oluşmuştur. Son olarak farklı tekniklerle yapılan dokümantasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

a. Arazi Çalışması

İlk olarak kazı alanının çevresinde detay noktaların ölçümü için gerekli olan istikşaf çalışmaları yapılmıştır. İstikşaf çalışmaları sonucunda belirlenen 3 noktaya poligonların tesisi gerçekleştirilmiştir. Tesis edilen poligonlar jeodezik ölçme aleti olan Elektronik Takeometre TOPCON KS-102 ile iki yarım silsile tekniği kullanılarak koordinatlandırılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Arazi ölçüm işlemi ve krokisi.

Çalışma alanına ait 18 adet detay noktası ölçülmüştür. Bu noktalardan 8 adedi dengeleme işleminde referans noktası olarak, 10 adedi ise kontrol noktası olarak kullanılmıştır.

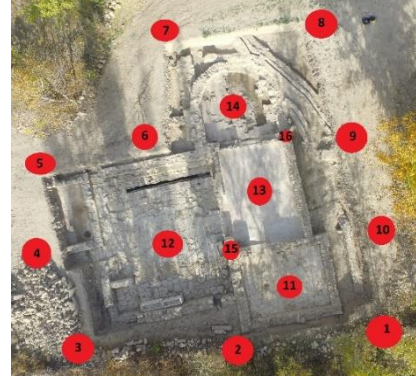
Yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi teknikleri kullanarak yapılacak olan dokümantasyon ve 3B model çalışması için araziye ait yerden ve havadan bindirmeli olarak fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Yerden ve havadan çekilen örnek fotoğraflar.

Çalışma alanına ait; sayısal el kamerası ile 78 adet, İHA ile 24 adet fotoğraf çekilmiştir. Yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi için fotoğraf

toplama işlemi tamamlandıktan sonra lazer tarama ile veri toplama işlemine geçilmiştir. Lazer tarama işlemi için lazer tarayıcı Şekil 12'de gösterilen 16 farklı yere konumlandırılmış olup tarama işlemi yapılmıştır. Lazer tarama cihazının örnek konumları Şekil 13'te gösterilmiştir.



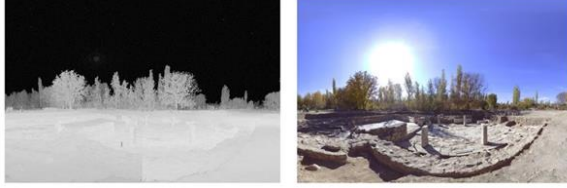
Şekil 12. Lazer tarama cihazı ile tarama yapılan konumlar.



Şekil 13. Kazı alanına ait lazer tarama oturumları.

Lazer tarama cihazı ile taranan yüzey arasındaki mesafe, nokta bulutu verisinin çözünürlüğünü doğrudan etkilemekte ve lazer tarama cihazından taranacak yüzeye gelen ışınlar da nokta bulutu verisinin kalitesini etkilemektedir. Çalışma yapılan kazı alanındaki her detay, tarihi açıdan öneme sahip olduğundan her bir detayın eksiksiz olarak elde edilmesi gerekmektedir. Çalışma alanındaki seramik ve duvarların eksiksiz bir şekilde modellenmesi için lazer tarama cihazının odaların tabanına ve duvarların üzerinde kurulması uygun görülmüştür. Kazı alanındaki tüm detayları kapsayacak şekilde ve lazer tarayıcının bir oturumda tarayamadığı kör noktaları diğer bir oturumda elde edebilmek ve nokta veri kümelerini birleştirirken bir düzen içerisinde olabilmek amaçlı 10 tanesi arazinin çevresinde ve 6 tanesi de iç kısımda olmak üzere toplam 16 oturum yapılarak tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Taramaların süreleri ise taranacak objelerin detay yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olup ortalama her tarama 20 dakika sürmüştür. Lazer tarama cihazı her

taramanın sonunda taradığı nokta kümelerine RGB (kırmızı-yeşil-mavi) renk değerlerini atamak için 360° panoramik fotoğraflar elde etmektedir. Bu RGB değerleri verileri işleme, birleştirme ve ayırma gibi ofis çalışmalarında önemli kolaylıklar sağlamakta ve daha sonra elde edilecek 3B modelin görsel kalitesini artırmaktadır (Şekil 14). Tarihi arkeolojik kazı alanına ait dokümantasyon çalışmasının arazi çalışması yaklaşık olarak sekiz saat sürmüştür.

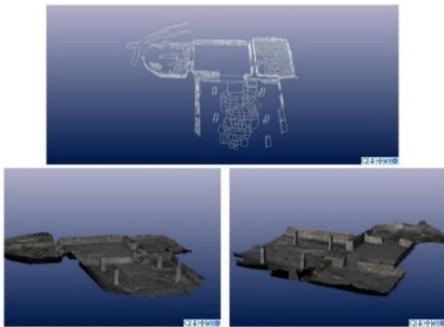


Şekil 14. Tarama sonrası çekilen panoramik fotoğrafın siyah-beyaz ve RGB görünümü (5. oturuma ait).

b. Ofis Çalışması

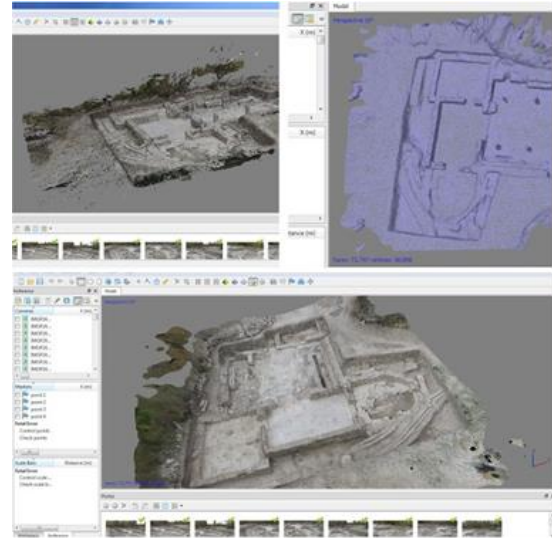
Ofis çalışmasında lazer tarama verileri, İHA ve sayısal el kamerası ile çekilen fotoğraf verileri ayrı ayrı yazılımlarda değerlendirilmiştir. Sayısal el kamerası ile çekilen fotoğraflar “Photomodeler UAS” (Photomodeler, 2020) yazılımında, İHA ile çekilen fotoğraflar “Agisoft PhotoScan” (Agisoft, 2018) yazılımında fotogrametri tekniği ile işlenmiştir. Lazer tarama verileri ise lazer tarama cihazının kendi yazılımı olan “Scene” (Scene, 2020) yazılımında işlenmiştir.

Sayısal el kamerası ile çekilen 78 adet fotoğraftan 25 adedi “Photomodeler” yazılımında kullanılmıştır. Araziden toplanan detay noktalar referans kabul edilerek manuel dengeleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra her bir detayın çizimi gerçekleştirilerek yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir ve arazinin 3B modeli elde edilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. “Photomodeler” yazılımında elde edilen 3B model.

İHA aracılığıyla elde edilen toplam 24 fotoğraf ile “Agisoft Photoscan” yazılımında İHA fotogrametrisi uygulanmıştır. İlk olarak araziden toplanan detay noktalar ile fotoğrafların dengelenmesi işlemi yapılmıştır. Ardından otomatik olarak fotoğraflar üzerinden yoğun nokta bulutu oluşturulmuş, yüzey geçirme işlemi tamamlanmış ve modele homojen bir doku giydirilmiştir. 3B modelin pikselini keskinleştirmek için görüntü zenginleştirme işlemi uygulanarak kazı alanının 3B modeli elde edilmiştir. “Agisoft PhotoScan” yazılımında elde edilen 3B model Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. “Agisoft” yazılımında elde edilen 3B model.

Lazer tarama teknolojisi ile veri toplama tekniği diğer veri elde etme tekniklerine göre daha kolay ve pratiktir. Fakat her teknolojinin olumlu tarafı olduğu kadar olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Bu tekniğin en önemli olumsuz tarafı çok fazla detay veriye sahip olmasıdır. Nokta kümelerini birleştirmeden önce gereksiz nokta verilerini ayıklamak gerekmektedir.

Tüm oturumlardan elde edilen birbirinden bağımsız nokta bulutları farklı referans sistemleri aracılığıyla birleştirilebilmektedir. Arazide alımı yapılan detay noktalar ile yazılım içerisinde bulunan yerel noktalar kullanılmak suretiyle manuel olarak yazılımda birleştirme işlemi yapılabilmektedir. Referans noktalar haricinde yazılım içinde nokta bulutları ile otomatik olarak birleştirme işlemi yapılabilmektedir. Birleştirme ve dengeleme işlemleri sırasında arazide ölçülen detay noktalar referans kabul edilerek birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kazı alanına ait elde edilmiş olan tarama verileri yersel lazer tarayıcı cihazını üreten firmanın sunmuş olduğu 3B nokta bulutu değerlendirme yazılımı olan “Scene” yazılımında birleştirilerek arkeolojik kazı alanının 3B görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 18). Kazı alanının 3B modelinin elde edilmesinde 277 milyondan fazla taranmış nokta kullanılmıştır. Bu taramalar sonucunda elde edilen model ortalama 4.8 mm hassasiyete ve minimum %40 oranında taramalar arasında bindirmeye sahiptir.

4. DOĞRULUK ARAŞTIRMASI

Çalışma alanındaki belirli noktalardan elektronik uzaklık ölçerle elde edilen koordinatlar (Tablo 5) referans alınarak her bir yazılım üzerinden elde edilen koordinatlar (Tablo 6) ile karşılaştırılmış ve 3B karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. “Scene”, “Photomodeler UAS” ve “Agisoft PhotoScan” yazılımlarından elde edilen hata değerleri sırasıyla Tablo 7, 8 ve 9’da verilmiştir. Her üç yazılıma ait konum hata değerleri ise Tablo 10 ve Şekil 17’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Elektronik Uzaklık Ölçer ile elde edilen kesin koordinatlar.

Elektronik Uzaklık Ölçer (Kesin Koordinatlar)			
N.N	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	2039.169	3026.775	210.354
2	2035.799	3025.095	210.229
3	2039.848	3030.153	210.412
4	2039.451	3031.339	209.698
5	2035.533	3031.907	209.355
6	2035.796	3031.936	209.511
7	2035.797	3030.734	209.345
8	2036.179	3029.154	209.358
9	2036.193	3029.143	208.642
10	2035.793	3030.691	208.618
11	2036.234	3027.280	209.281
12	2036.042	3025.935	209.777
13	2035.838	3024.595	209.302
14	2035.914	3024.576	208.648
15	2036.117	3025.924	208.639
16	2036.324	3027.262	208.652
17	2037.335	3023.558	208.924
18	2035.385	3023.124	209.035

Tablo 6. Yazılımlardan elde edilen koordinatlar.

“Scene”				“Photomodeler UAS”				“Agisoft PhotoScan”			
No	X (m)	Y (m)	Z (m)	No	X (m)	Y (m)	Z (m)	No	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	2039.18	3026.78	210.35	1	2039.19	3026.79	210.34	1	2039.19	3026.78	210.34
2	2035.80	3025.10	210.22	2	2035.79	3025.09	210.22	2	2035.79	3025.09	210.22
3	2039.79	3030.07	210.41	3	2039.76	3030.03	210.41	3	2039.77	3030.05	210.41
4	2039.45	3031.33	209.68	4	2039.45	3031.32	209.67	4	2039.45	3031.32	209.68
5	2035.54	3031.93	209.34	5	2035.54	3031.93	209.33	5	2035.54	3031.92	209.34
6	2035.81	3031.96	209.51	6	2035.80	3031.95	209.51	6	2035.80	3031.95	209.51
7	2035.81	3030.75	209.34	7	2035.81	3030.74	209.34	7	2035.80	3030.74	209.34
8	2036.19	3029.16	209.36	8	2036.19	3029.16	209.37	8	2036.18	3029.16	209.37
9	2036.2	3029.14	208.65	9	2036.20	3029.15	208.65	9	2036.20	3029.14	208.65
10	2035.80	3030.69	208.62	10	2035.80	3030.70	208.63	10	2035.80	3030.69	208.63
11	2036.25	3027.28	209.27	11	2036.24	3027.28	209.28	11	2036.24	3027.28	209.28
12	2036.05	3025.95	209.76	12	2036.04	3025.94	209.76	12	2036.04	3025.94	209.76
13	2035.83	3024.59	209.29	13	2035.83	3024.60	209.30	13	2035.83	3024.60	209.30
14	2035.93	3024.58	208.67	14	2035.94	3024.58	208.65	14	2035.93	3024.58	208.65
15	2036.06	3025.91	208.63	15	2036.05	3025.91	208.63	15	2036.06	3025.91	208.63
16	2036.31	3027.24	208.63	16	2036.31	3027.21	208.64	16	2036.31	3027.21	208.64
17	2037.34	3023.58	208.94	17	2037.34	3023.58	208.94	17	2037.33	3023.58	208.94
18	2035.39	3023.15	209.05	18	2035.39	3023.15	209.05	18	2035.38	3023.15	209.05

Tablo 7. “Scene” yazılımı hata değerleri.

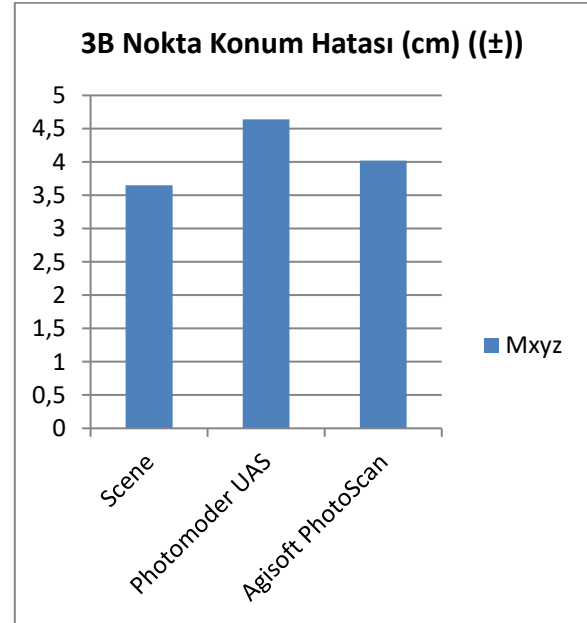
N.N	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar cm ²		
	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)	VxVx	VyVy	VzVz
1	1.6	1.2	-0.3	2.5	1.5	0.1
2	0.6	1.0	-0.3	0.3	1.1	0.1
3	-5.5	-7.9	0.0	29.8	62.5	0.0
4	0.6	-0.1	-1.6	0.3	0.0	2.5
5	1.5	2.5	-1.0	2.4	6.1	1.0
6	1.6	2.6	-0.1	2.5	6.6	0.0
7	2.0	2.4	0.1	3.9	6.0	0.0
8	1.3	1.0	1.0	1.8	1.0	0.9
9	0.9	0.6	1.0	0.9	0.3	1.0
10	0.7	0.3	0.7	0.5	0.1	0.5
11	1.6	0.8	-0.4	2.6	0.6	0.1
12	1.5	1.5	-0.9	2.2	2.4	0.8
13	-0.1	-0.2	-0.7	0.0	0.0	0.5
14	2.1	1.3	2.2	4.4	1.7	4.7
15	-5.7	-1.2	-0.3	32.3	1.4	0.1
16	-1.3	-1.3	-1.5	1.6	1.7	2.3
17	0.8	3.1	2.3	0.6	9.9	5.2
18	0.8	3.1	2.3	0.6	9.9	5.2

Tablo 8. “Photomodeler” yazılımı hata değerleri.

N.N	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar cm ²		
	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)	VxVx	VyVy	VzVz
1	2.4	1.7	-0.7	5.7	2.7	0.5
2	-0.2	-0.1	-0.3	0.0	0.0	0.1
3	-8.0	-11.7	-0.2	64.2	137.6	0.0
4	0.0	-1.7	-2.0	0.0	2.9	4.2
5	1.2	2.3	-1.6	1.4	5.3	2.6
6	0.8	2.3	0.0	0.6	5.5	0.0
7	1.4	1.5	0.3	2.0	2.4	0.1
8	1.2	1.4	1.6	1.3	1.9	2.5
9	1.0	0.7	1.4	1.1	0.5	1.9
10	1.0	1.0	1.5	1.0	0.9	2.1
11	1.2	0.8	-0.1	1.4	0.7	0.0
12	0.6	1.4	-1.1	0.4	2.0	1.2
13	-0.1	0.8	-0.1	0.0	0.7	0.0
14	2.6	0.7	0.6	6.9	0.5	0.4
15	-6.4	-0.6	-0.8	41.5	0.4	0.7
16	-0.5	-5.2	-1.1	0.3	26.7	1.1
17	0.5	3.0	2.4	0.2	8.9	5.7
18	0.5	3.0	2.4	0.2	8.9	5.7

Tablo 9. “Agisoft PhotoScan” yazılımı hata değerleri.

N.N	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar cm ²		
	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)	VxVx	VyVy	VzVz
1	2.1	1.4	-0.6	4.3	2.0	0.4
2	-0.1	-0.1	-0.3	0.0	0.0	0.1
3	-6.9	-10.2	-0.2	48.2	103.3	0.0
4	0.0	-1.5	-1.8	0.0	2.2	3.1
5	1.0	2.0	-1.4	1.1	4.0	2.0
6	0.7	2.0	0.0	0.5	4.1	0.0
7	1.2	1.3	0.3	1.5	1.8	0.1
8	1.0	1.2	1.4	1.0	1.4	1.9
9	0.9	0.6	1.2	0.8	0.4	1.5
10	0.9	0.8	1.3	0.8	0.7	1.6
11	1.0	0.7	-0.1	1.1	0.5	0.0
12	0.5	1.2	-0.9	0.3	1.5	0.9
13	-0.1	0.7	-0.1	0.0	0.5	0.0
14	2.3	0.6	0.6	5.2	0.4	0.3
15	-5.6	-0.5	-0.7	31.2	0.3	0.5
16	-0.5	-4.5	-0.9	0.2	20.1	0.8
17	0.4	2.6	2.1	0.2	6.7	4.3
18	0.4	2.6	2.1	0.2	6.7	4.3



Şekil 17. Değerlendirme sonucunda oluşan nokta konum hataları.

Tablo 10. Konum hata değerleri.

“Scene”				“Photomodeler UAS”				“Agisoft PhotoScan”			
	Vi farklar (cm)				Vi farklar (cm)				Vi farklar (cm)		
	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)		Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)		Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)
Vmin	0.1	0.1	0	Vmin	0	0.1	0	Vmin	0	0.1	2.1
Vmaks	5.7	7.9	2.3	Vmaks	8	11.7	2.4	Vmaks	6.9	10.2	2.4
Vort	1.7	1.8	0.9	Vort	1.6	2.2	1	Vort	1.4	1.9	0.9
m	2.3	2.6	1.2	m	2.7	3.5	1.3	m	2.4	3	1.1
mxyz(±)	3.65			mxyz(±)	4.64			mxyz(±)	4.02		



Şekil 18. Yersel lazer tarama sonucun oluşan 3B model.

5. SONUÇLAR

Tarihi yapılar, yüzyıllar öncesinde yaşamış olan toplumların yaşantılarını günümüze yansıtan en önemli somut kaynakların başında gelmektedir. Bunların birçoğu toprak altında keşfedilmeyi beklemektedir. Günümüze kadar gelmeyi başaranların ise bir kısmı kullanılabiliyorken diğerleri ne yazık ki doğal ya da doğal olmayan sebeplerden dolayı yok olmanın eşiğindedir. Bundan dolayı geçmişimizi canlı bir şekilde gözler önüne seren tarihi eser ve alanlarımızın dokümantasyonunu yapmak oldukça önemlidir. Bu dokümantasyon çalışmaları uzun yıllardır farklı tekniklerle yapılmakta ve değişik doğrulukta veriler elde edilmektedir.

Günümüzde minimum maliyetle hızlı ve güvenilir 3B veri elde etmek oldukça önemlidir. 3B modelleme ve dokümantasyon çalışmalarında uzun yıllardır yersel fotogrametri tekniği farklı disiplinlerce tercih edilmiştir. Yersel fotogrametri tekniği temel olarak yer bazlı fotoğrafçılığa içerdiği için özellikle büyük boyuttaki objelerin modellenmesinde bazı eksiklikler yaşanmaktadır. İHA teknolojisinin bu alanda kullanılmasına başlandıktan sonra havadan fotoğraf çekilerek yer bazlı fotoğraflara ek olarak kullanılması karşılaşılan bazı sorunlara çözüm olabilmektedir. Ek olarak yoğun nokta bulutu üretmek ve bu verileri işleyip değerlendirmek güçlü donanımlara sahip bilgisayarlar gerektirmektedir. Bu iki veri toplama ve işleme metodu bir rakip olmaktan ziyade birbirini tamamlayan tekniklerdir.

Teknolojinin bu önlenemez ilerleyişi ile yeni teknikler bizlere çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Çağımızda çok farklı disiplinlerde hayatımızı kolaylaştıran lazer ışını bu anlamda önemli yapıların dokümantasyonlarının oluşturulmasında zaman, maliyet ve ölçü doğruluğu açısından optimum veriler vermekte ve dokümantasyon çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır.

Lazer tarama teknolojisi yeni bir teknoloji olmasına rağmen kullanım alanları oldukça geniştir. Özellikle son yıllarda; 3B şehir modelleme, mühendislik yapıları için deformasyon izleme çalışmaları, mimari çalışmalar, haritacılık işlemleri, tarihi yapıların detaylı durumu ve arkeolojik çalışmalarda lazer tarama teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Kazı çalışmasında bulunan objelerin detaylarının fazlalığına göre, tarama cihazının tarama kalitesini artırılması detayların gerçeğe daha yakın elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Lazer tarama teknolojisi her ne kadar hızlı ve ekonomik bir teknik olsa da elde edilen nokta kümelerinin bir kısmı anlamsız bilgiler içermektedir. Bu anlamsız bilgileri maskeleyerek, ölçücü için ilave dikkat ve zaman isteyen bir süreç olmaktadır. Ayrıca yoğun nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemi bilgisayarın bellek ve ekran kartı ile doğrudan ilişkilidir. Birleştirme çalışmasında yüksek kapasiteli bellek ve ekran kartına sahip bilgisayarların kullanılması ofis çalışmasının süresini kısaltacaktır.

Doğruluk araştırması için kullanılan 18 noktanın konum doğrulukları üç farklı yazılımda değerlendirilmiştir. Tablo 10'da görüleceği üzere değerlendirme sonucunda noktaların konum hataları; "Scene", "Photomodeler UAS" ve "Agisoft PhotoScan" yazılımlarında sırasıyla 3.65, 4.64, 4.02 cm olduğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde lazer tarama tekniğinin fotogrametrik tekniğe göre daha hassas çalıştığını görmek mümkündür. Ancak hem veri dosyalarının çok büyük olması hem de çok fazla ilgisiz nokta bulutunun bulunmasından dolayı operatöre bağlı olan işler artmaktadır. Ayrıca çok daha güçlü bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Fotogrametrik teknikte ise hem yersel teknikler hem de İHA ile elde edilen verilerin kullanılması sonucunda oluşan konum hatası miktarları lazer tarama tekniğine yakındır. Bu durumda mevcut

teknik donanıma göre hareket etmek daha uygun olacaktır. İHA veya yersel fotogrametri lazer tarama tekniğine göre daha ekonomiktir ve arazi işi daha kısa sürmektedir. Ofis çalışmasında ise tekniklerin uygun olup olmadığı bilgisayarların gücüne bağlıdır.

Bu çalışmada lazer tarama tekniği, yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi tekniği ile elde edilen görüntülerin kullanılarak oluşturulan 3B modelin doğruluğu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda bu teknikler ile birleştirme işlemleri uygulanarak konum doğruluğunun hangi durumda daha yüksek olduğu araştırılacaktır.

ORCID

Yunus KAYA  <https://orcid.org/0000-0003-2319-4998>

Abdurahman Yasin YİĞİT  <https://orcid.org/0000-0002-9407-8022>

Ali ULVİ  <https://orcid.org/0000-0003-3005-8011>

Murat YAKAR  <https://orcid.org/0000-0002-2664-6251>

KAYNAKLAR

- Agisoft, L. L. C. (2018). Agisoft PhotoScan user manual. *St Petersburg, Russia: Agisoft LLC*. Erişim Adresi: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf.
- Bemis, S. P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T. ve Bangash, H.A., (2014). Ground-based and UAV-based photogrammetry: a multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *J. Struct. Geol.* 69, 163–178. doi: 10.1016/j.jsg.2014.10.007
- Bevan, A., Li, X., Martinón-Torres, M., Green, S., Xia, Y., Zhao, K. ve Rehren, T. (2014). Computer vision, archaeological classification and China's terracotta warriors. *Journal of Archaeological Science*, 49, 249-254. doi:10.1016/j.jas.2014.05.014
- Brandolini, F. ve Patrucco, G. (2019). Structure-from-Motion (SfM) Photogrammetry as a Non-Invasive Methodology to Digitalize Historical Documents: A Highly Flexible and Low-Cost Approach?. *Heritage*, 2(3), 2124-2136. doi: 10.3390/heritage2030128
- Chen, J., Li, K., Chang, K.J., Sofia, G. ve Tarolli, P. (2015). Open-pit mining geomorphic feature characterisation. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 42, 76–86. doi: 10.1016/j.jag.2015.05.001
- Chiuso, A., Favaro, P., Jin, H. ve Soatto, S. (2002). Structure from motion causally integrated over time. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 24(4), 523-535. doi: 10.1109/34.993559.
- Cömert R., Avdan U., ve Şenkal E. (2012, Ekim). *İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler*. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19, Zonguldak. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/E mre_Senkal/publication/292669083_İnsansız_Hava_Araclarinin_Kullanım_Alanlari_ve_Gelecekteki_Beklentiler/links/5795ce7f08ae33e89f abd68c.pdf
- Cucchiario, S., Cavalli, M., Vericat, D., Crema, S., Llena, M., Beinart, A., ... Cazorzi, F. (2019). Geomorphic effectiveness of check dams in a debris-flow catchment using multi-temporal topographic surveys. *Catena* 174, 73–83. doi: 10.1016/j.catena.2018.11.004
- Çelik, M. Ö., Hamal, S.N.G. ve Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Türkiye LİDAR Dergisi*, 2(1),15-22. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/melid/issue/55648/755790>
- Dellaert, F., Seitz, S. M., Thorpe, C. E. ve Thrun, S. (2000, Haziran). Structure from motion without correspondence. *In Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2, 557-564. doi: 10.1109/CVPR.2000.854916
- Dietrich, J.T. (2017). Bathymetric structure-from-motion: extracting shallow stream bathymetry from multi-viewstereo photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landf.* 42, 355–364. doi: 10.1002/esp.4060
- Digicamb. (t.y.). Pentax Optio RZ18. Erişim Adresi: https://www.digicamdb.com/specs/pentax_optio-rz18/
- Doğan, Y. ve Arıkan, İ. (2013). İlköğretim 7. Sınıf Öğrencilerinin Kültürel Mirasla İlgili Başarı Düzeyleri ve Tutumlarının Bazı Değişkenlerce İncelenmesi (Adıyaman Örneği). *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15, 29-68. doi: 10.14520/adyusbd.730

- Dron market. (t.y.). DJI Phantom 3 Professional Erişim Adresi: <https://www.dronmarket.com/urun/dji-phantom-3-professional-drone>
- Eskikurt, A. (2003). Anadolu medeniyetleri ve coğrafya. Doktora tezi. Erişim Adresi: <http://dspace.marmara.edu.tr/handle/11424/27726>.
- Fabris, M., Achilli, V., Artese, G., Boatto, G., Bragagnolo, D., Concheri, G., ...Trecroci A. (2009). High Resolution Data From Laser Scanning and Digital Photogrammetry Terrestrial Methodologies Test Site: An Architectural Surface. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, 38, Part 3/W8pages.43-48. Erişim Adresi: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.409.5594&rep=rep1&type=pdf>
- Faro. (t.y.). Laser Scanner for Fast and Exact Indoor and Outdoor Measurements in Three Dimensions: Simply at Your Fingertips. Erişim Adresi: <https://www.faro.com/tr-tr/urunler/construction-bim-cim/faro-focus/#main>
- Frodella, W., Elashvili, M., Spizzichino, D., Gigli, G., Adikashvili, L., Vacheishvili, N., ... Casagli, N. (2020). Combining InfraRed Thermography and UAV Digital Photogrammetry for the Protection and Conservation of Rupestrian Cultural Heritage Sites in Georgia: A Methodological Application. *Remote Sensing*, 12(5), 892. doi: 10.3390/rs12050892
- Gautier, Q. K., Garrison, T. G., Rushton, F., Bouck, N., Lo, E., Tueller, P. ve Kastner, R. (2020). *Low-cost 3D scanning systems for cultural heritage documentation. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 10(4), 437-455. doi: 10.1108/JCHMSD-03-2020-0032
- Gürleyen, S. B. (2020). Kültürel Varlıkların Yönetiminde Semantik Ağ ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çerçevesinde Bir Sürdürülebilirlik Yaklaşımı: Konumsal Semantik Kültür Ağı (KoSeKA) Modeli. Doktora tezi. Erişim Adresi: <http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/22579>.
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J. ve Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: a review. *Curr. For. Rep.* 5, 155–168. doi: 10.1007/s40725-019-00094-3
- Konya'da 1400 Yıllık Aslan ve Savaşçı Mozaïği Bulundu. (2016, 1 Eylül). Erişim Adresi: <http://arkeofili.com/konyada-1400-yillik-aslan-ve-savasci-mozaigi-bulundu/#.WFa7dFWLTU>
- Koutsoudis, A., Vidmar, B., Ioannakis, G., Arnaoutoglou, F., Pavlidis, G. ve Chamzas, C. (2014). Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15(1), 73-79. doi:10.1016/j.culher.2012.12.003
- Kraus, K. (2007). Photogrammetry: geometry from images and laser scans. *Walter de Gruyter, Berlin*. ISBN: 978-3-11-019007-6.
- Lichti, D. D. ve Gordon, S.J. (2004, Mayıs). Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. *FIG Working Week*, Athens, Greece. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/253002405_Error_Propagation_in_Directly_Georeferenced_Terrestrial_Laser_Scanner_Point_Clouds_for_Cultural_Heritage_Recording
- Malambo, L., Popescu, S.C., Murray, S.C., Putman, E., Pugh, N.A., Horne, D.W., ... Bishop, M. (2018). Multitemporal fieldbased plant height estimation using 3D point clouds generated from small unmanned aerial systems highresolution imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 64, 31–42. doi: 10.1016/j.jag.2017.08.014
- Mohammed, O. H. (2016). Kültürel mirasın belgelenmesinde dökümantasyon tekniklerin karşılaştırılması. Doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erişim Adresi: <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/4344>
- Moyano, J., Nieto-Julián, J. E., Bienvenido-Huertas, D. ve Marín-García, D. (2020). Validation of Close-Range Photogrammetry for Architectural and Archaeological Heritage: Analysis of Point Density and 3D Mesh Geometry. *Remote Sensing*, 12(21), 3571. doi: 10.3390/rs12213571
- Pakben, U. (2013). Tarihi yapıların rölöve ve analizlerinde kullanılan ileri belgeleme teknikleri. Doktora tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Erişim Adresi: <https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/7598>

- Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V. ve Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of cultural heritage*, 8(1), 93-98. doi: 10.1016/j.culher.2006.10.007
- Peña-Villasenín, S., Gil-Docampo, M. ve Ortiz-Sanz, J. (2019). Professional SfM and TLS vs a simple SfM photogrammetry for 3D modelling of rock art and radiance scaling shading in engraving detection. *Journal of Cultural Heritage*, 37, 238-246. doi: 10.1016/j.culher.2018.10.009
- Peña-Villasenín, S., Gil-Docampo, M. ve Ortiz-Sanz, J. (2020). Desktop vs cloud computing software for 3D measurement of building façades: The monastery of San Martín Pinario. *Measurement*, 149, 106984. doi: 10.1016/j.measurement.2019.106984
- Phinney, J. S., Horenczyk, G., Liebkind, K. ve Vedder, P. (2001). Ethnic identity, immigration, and well-being: An interactional perspective. *Journal of social issues*, 57(3), 493-510. doi: 10.1111/0022-4537.00225.
- Photomodeler. (2020). PhotoModeler software online help manual. Erişim Adresi: <https://www.photomodeler.com/resources/>
- Poux, F., Billen, R., Kasprzyk, J. P., Lefebvre, P. H. ve Hallot, P. (2020). A Built Heritage Information System Based on Point Cloud Data: HIS-PC. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 588. doi: doi.org/10.3390/ijgi9100588
- Randazzo, L., Collina, M., Ricca, M., Barbieri, L., Bruno, F., Arcudi, A. ve La Russa, M. F. (2020). Damage Indices and Photogrammetry for Decay Assessment of Stone-Built Cultural Heritage: The Case Study of the San Domenico Church Main Entrance Portal (South Calabria, Italy). *Sustainability*, 12(12), 5198. doi: 10.3390/su12125198
- Reshetyuk, Y. (2009). Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning. Doktora tezi. Geodesy, Royal Institute of Technology (KTH), *Department of Transport and Economics Division of Geodesy*, Erişim Adresi: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:139761/FULLTEXT01>
- Scene. (2020). FARO SCENE user manual. Erişim Adresi: <https://faro.app.box.com/s/uivkgf3jyrxcxn5ofazlohjnaddknhr/file/730718082810>
- Sekban, D. M., Aktarer, S. M. ve Purcek, G. (2019). Friction stir welding of low-carbon shipbuilding steel plates: microstructure, mechanical properties, and corrosion behavior. *Metallurgical and materials transactions A*, 50(9), 4127-4140. doi: 10.1007/s11661-019-05324-8
- Shao, H., Chen, Y., Yang, Z., Jiang, C., Li, W., Wu, H., ... Hyyppä, J. (2020). Feasibility Study on Hyperspectral LiDAR for Ancient Huizhou-Style Architecture Preservation. *Remote Sensing*, 12(1), 88. doi: 10.3390/rs12010088
- Stumpf, A., Malet, J. P., Allemand, P., Pierrot-Deseilligny, M. ve Skupinski, G. (2015). Ground-based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion. *Geomorphology*, 231, 130-145. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.039
- Sztwiertnia, D., Ochalek, A., Tama, A. ve Lewińska, P. (2019). HBIM (heritage Building Information Model) of the Wang Stave Church in Karpacz—Case Study. *International Journal of Architectural Heritage*, 1-15. doi: 10.1080/15583058.2019.1645238
- Şenol, H. I., Erdogan, S., Onal, M., Ulukavak, M., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... Yilmaz, M. (2017, Ekim). 3D Modeling Of A Bazaar in Ancient Harran City Using Laser Scanning Technique. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Karabük, Türkiye. Erişim Adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/6f37/b517a2f3e88e916005850d0a39d6e33f15dd.pdf>
- Şenol, H., Memduhoglu, A. ve Ulukavak, M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1241-1250. doi: 10.24012/dumf.801662
- Tercan, E. (2017). İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 633-642. doi: 10.21923/jesd.315232

- Turner, D., Lucieer, A. ve de Jong, S.M. (2015). Time series analysis of landslide dynamics using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sens.* 7, 1736–1757. doi: 10.3390/rs70201736
- Uslu, A., Polat, N., Toprak A.S. ve Uysal, M. (2016). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8, 2, 165-176. doi: 10.15659/hartek.16.08.302
- Ulvi, A. ve Yakar, M. (2014) Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 25-36. Erişim adresi: http://www.makalesistemi.com/panel/files/manuscript_files_publish/9cd7b8eb03077e60693ba14fb8ed2f1d/707fb0767d3f75e1919502e82529ac08/143cda31ad15940.pdf
- Ulvi, A. ve Yiğit, A. (2020). 3D Modelling of Kayseri Tekgöz Bridge. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 29-32. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mephoj/issue/52791/676334>
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. ve Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal Of Engineering Science*, 7(3), 64-73. doi: 10.13189/ujes.2019.070303
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. ve Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30. doi: 10.29128/geomatik.560179
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A.U. ve Kaya, Y. (2019, Nisan). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunun Yersel Lazer Tarama ve İHA Teknikleri ile Elde Edilmesi: Konya Yunuslar Örneği. TUFUAB X. Teknik Sempozyumu, Aksaray, Türkiye. Erişim Adresi: http://tufuab2019.aksaray.edu.tr/wp-content/uploads/2019/12/tam_metin_kitap.pdf
- Uray, F., Varlık, A. ve Metin, A. (2018). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği. *Geomatik*, 3(1), 74-83. doi:10.29128/geomatik.369065.
- Uslu A. ve Uysal, M. (2017). Arkeolojik eserlerin fotogrametri yöntemi ile 3 boyutlu modellenmesi: Demeter Heykeli örneği. *Geomatik*, 2(2), 60-65. doi: 10.15659/hartek.16.08.302
- Woodget, A.S., Carbonneau, P.E., Visser, F. ve Maddock, I.P., (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landf.* 40(1), 47-64. doi: 10.1002/esp.3613.
- Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y. ve Tarolli, P. (2018). Open-pit mine geomorphic changes analysis using multitemporal UAV survey. *Environ. Earth Sci.* 77, 220. doi: 10.1007/s12665-018-7383-9
- Yakar, M. ve Mohammed, O. (2016). Yersel Fotogrametrik Yöntem ile İbadethanelerin Modellenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(2), 85-95. Erişim Adresi: <http://sutod.selcuk.edu.tr/sutod/article/view/297>
- Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V. ve Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very highresolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *Eur. J. Agron.* 55, 89–99. doi: 10.1016/j.eja.2014.01.004
- Zeybek, M. ve Kaya, A. (2020). Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tibeti Kilisesi Örneği. *Geomatik*, 5 (1), 47-57. doi: 10.29128/geomatik.568584