

# Türkiye FOTOGRAMETRİ Dergisi

Cilt/Volume: 5  
Sayı/Issue: 1  
Haziran/June  
2023



e-ISSN: 2687-6590



#### **Dergi Hakkında**

Türkiye Fotogrametri Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Fotogrametri alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir.

#### **Amaç & Kapsam**

Türkiye Fotogrametri Dergisi 2019 yılından beri yayın hayatını sürdüren ulusal hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Fotogrametri alanına ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Türkiye Fotogrametri Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

Türkiye Fotogrametri Dergisinin kapsamı;

- ✓ Hava Fotogrametrisi
- ✓ Yersel Fotogrametri
- ✓ İnsansız hava araçları (IHA) uygulamaları
- ✓ Mobil haritalama uygulamaları
- ✓ Fotogrametrik sensor kalibrasyonu
- ✓ 3D sensor teknolojisi
- ✓ Fotogrametrik amaçlı Görüntü işleme (Görüntü eşleme, detay çıkarma, radyometrik yöntemler, sınıflandırma)
- ✓ 3D modelleme ve yeniden oluşturma
- ✓ Nokta bulutu işleme
- ✓ Sanal Gerçeklik
- ✓ Fotogrametrik Ürün elde etmede Arazi/obje modellemesi
- ✓ Fotogrametrik Yöneltilme işlemleri
- ✓ Havai Nirengi
- ✓ 3D amaçlı veri tabanı modellemesi
- ✓ Sensörlerin geometrik modeller
- ✓ Sınıflandırma

#### **Yayımlanma Sıklığı**

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

#### **e-ISSN**

-----

#### **WEB**

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

#### **İletişim**

[myakar@mersin.edu.tr](mailto:myakar@mersin.edu.tr)



Türkiye Fotogrametri Dergisi

Turkish Journal of Photogrammetry

## EDİTÖR

**Arş. Gör. Yunus KAYA**

Harran Üniversitesi,  
Şanlıurfa

## EDİTÖR YARDIMCILARI

**Prof. Dr. Murat YAKAR**

Mersin Üniversitesi,  
Mersin

## EDİTÖR KURULU

- **Prof. Dr. Bülent BAYRAM**, Yıldız Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Khalil Valizadeh KAMRAN**, University of Tabriz, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Department of Remote Sensing and GIS, Tabriz, Iran
- **Prof. Dr. Erkan BEŞDOK**, Erciyes Üniversitesi
- **Prof. Dr. Gönül TOZ**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Sultan KOCAMAN**, Hacettepe Üniversitesi
- **Prof. Dr. Cem GAZIOĞLU**, İstanbul Üniversitesi
- **Prof. Dr. Fevzi KARSLI**, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Semra ALYILMAZ**, Atatürk Üniversitesi
- **Prof. Dr. İbrahim YILMAZ**, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- **Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU**, Konya Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Ozan ARSLAN**, Kocaeli Üniversitesi
- **Doç. Dr. Tekin SUSAM**, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- **Doç. Dr. Zaide DURAN**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Bahadır ERGÜN**, Gebze Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN**, Hacettepe Üniversitesi
- **Doç. Dr. Arzu ERENER**, Kocaeli Üniversitesi
- **Doç. Dr. Güler YALÇIN**, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- **Doç. Dr. Murat UYSAL**, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- **Doç. Dr. Eminnur Topsakal AYHAN**, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ**, Bülent Ecevit Üniversitesi
- **Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK**, Aksaray Üniversitesi
- **Doç. Dr. Tarık TÜRK**, Cumhuriyet Üniversitesi
- **Doç. Dr. Ali Özgün OK**, Hacettepe Üniversitesi
- **Doç. Dr. Taner ÜSTÜNTAŞ**, Kocaeli Üniversitesi
- **Doç. Dr. Cumhuriyet ŞAHİN**, Gebze Teknik Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet Emin KARKINLI**, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Mehmet Güven KOÇAK**, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Mahir Serhan TEMİZ**, Uşak Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Lütfiye KARASAKA**, Konya Teknik Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa DİHKAN**, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Sefa BİLGİLİOĞLU**, Aksaray Üniversitesi
- **Dr. Öğr. Üyesi, Hatice Çatal REİS**, Gümüşhane Üniversitesi
- **Dr. Atta-ur RAHMAN**, Department of Geography and Geomatics, University of Peshawar-Pakistan

## DANIŞMA KURULU

- **Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**, Aksaray Üniversitesi
- **Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ**, Atatürk Üniversitesi
- **Prof. Dr. Abdurrahman Geymen**, Erciyes Üniversitesi
- **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**, Selçuk Üniversitesi

# İÇİNDEKİLER

## CİLT 5 / SAYI 1

### Araştırma Makaleleri; Research Articles\*;

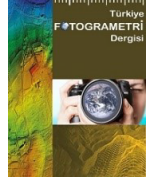
Sayfa/Page No	Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name
01-06*	<i>Aksaray Müzesinde Bulunan Asklepios ve Kartal Heykelinin 3B Modellemesi</i> <i>3D Modeling of Asclepius and Eagle Statue in Aksaray Museum</i> <b>Şükran Tosun Çolak &amp; Avşar Timuçin Çolak</b>
07-19*	<i>Yerel Yönetimlerde Kaçak Yapı Tespitinde İHA Kullanımı: Keçiören Belediyesi</i> <i>Örneği</i> <i>Use of UAVs in Detection of Illegal Construction in Local Governments: The Case of</i> <i>Keçiören Municipality</i> <b>Ahmet Ulukök &amp; Ali Ulvi</b>
20-28*	<i>Küçük Ölçekli Tarihi Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3B Modellenmesi</i> <i>ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi</i> <i>3D Modeling and Web Based Visualization of Small-Scale Historical</i> <i>Artifacts with Photogrammetry Method</i> <b>Mustafa Emre Döş &amp; Abdurahman Yasin Yiğit</b>
29-35*	<i>İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu</i> <i>ve Modelinin Üretimi</i> <i>Generation of 3D Point Cloud and Model of Yozgat Çilekçi Tomb Using UAV</i> <i>Photogrammetry</i> <b>Adem Kabadayı &amp; Alperen Erdoğan</b>
36-42*	<i>Tarihi Kızilkoyun Nekropol Alanında M54 No.lu Kaya Mezarının</i> <i>Fotogrametri ile 3B Modellemesi</i> <i>3D Modeling of M54 Rock Tomb in the Historical Kızilkoyun Necropolis</i> <i>Area Using Photogrammetry</i> <b>İbrahim Aydın, Cömert Oso, Mehmet Yaşar &amp; Nizar Polat</b>



## Türkiye Fotogrametri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

e-ISSN 2687-6590



### Aksaray Müzesinde Bulunan Asklepios ve Kartal Heykelinin 3B Modellemesi

Şükran Tosun Çolak <sup>1\*</sup>, Avşar Timuçin Çolak <sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Müzesi, 68000, Aksaray, Türkiye; (sukrantosun@hotmail.com; av sartimucin@gmail.com)



\*Sorumlu Yazar:  
sukrantosun@hotmail.com

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Çolak, Ş. T., Çolak, A. T. (2023). Aksaray Müzesinde Bulunan Asklepios ve Kartal Heykelinin 3B Modellemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 01-06.

Geliş : 17.02.2023  
Revize : 05.05.2023  
Kabul : 01.06.2023  
Yayınlama : 30.06.2023

#### Özet

Kültürel ve arkeolojik değerlerin korunması, gelecek kuşaklara aktarılması ülkemizin kültürel değerleri olan tarihi eserlerin mirasçuları olarak bizlere düşmektedir. Artan kültürel miras bilinci ile gelişen teknolojinin buluşturulması gerekmektedir. Bu çalışma ile Aksaray Müzesinde sergilenen Asklepios ve Kartal heykellerinin üç boyutlu (3B) modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda yüksek çözünürlükte modellenen eserlerin arşivlenmesi ve restorasyon/konservasyon çalışmaları için 3B veri imkânı sunmaktadır. Ayrıca eserlerin, internet ortamında sergilenmesi, incelenmesi, dijital görsel efektler oluşturması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Agisoft Mehasape programı kullanılarak eserlerin gerçek ölçeklerinde boyutlandırılarak 3B modelleri üretilmiştir. Yüksek çözünürlükte kendi görüntüsü ile kaplama yapılan eserlerden gerçekçi bir görünüm elde edilmiştir. Üretilen modellerin obj. formatında dışarıya aktarımı yapılarak farklı program ve uygulamalarda görüntülenmesi ve işlenmesi olanaklı hale getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 3B modelleme, Agisoft Metashape, müze, kültürel miras.

### 3D Modeling of Asclepius and Eagle Statue in Aksaray Museum

\*Corresponding Author:  
sukrantosun@hotmail.com

#### Research Article

**Citation:** Çolak, Ş. T., Çolak, A. T. (2023). 3D Modeling of Asclepius and Eagle Statue in Aksaray Museum. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(1), 01-06 (in Turkish).

Received : 17.02.2023  
Revised : 05.05.2023  
Accepted : 01.06.2023  
Published : 30.06.2023

#### Abstract

The protection of cultural and archaeological values and transferring them to future generations falls to us as the heirs of historical artifacts, which are the cultural values of our country. Increasing awareness of cultural heritage and developing technology need to be brought together. With this study, (3D) models of the Asclepius and Eagle sculptures exhibited in the Aksaray Museum were created. As a result of the study, it offers three-dimensional (3D) data for archiving and restoration/conservation studies of artifacts modeled in high resolution. In addition, it is aimed to exhibit and examine the works on the internet and to create digital visual effects. For this purpose, 3D models were produced by resizing the works in real scales using the Agisoft Mehasape program. A realistic appearance has been obtained from the works that are coated with their own image in high resolution. Obj of the produced models. format, it has been made possible to view and process in different programs and applications.

**Keywords:** 3D modeling, Agisoft Metashape, museum, cultural heritage.

## 1. Giriş

Savaşlar ve depremler gibi zaman içindeki tüm değişimleri barındıran uygarlıkların yaşam biçimini ve estetik anlayışını günümüze yansıtan kültürel varlıklar insanlığın geçmiş ile geleceği arasındaki köprüdür. Eserlerin gerçeğine uygun bir şekilde bırakılması da önemli bir konudur [1-5]. Çünkü bu eserler gerek doğa olayları sonucu yaşadıkları tahribatlardan, gerekse de bizzat insanların fiziki teması ile verilen zararlardan dolayı, fiziki bozulmalara maruz kalmakta, dolayısıyla yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır [6]. Belgeleme çalışmalarında gelişen teknoloji ile klasik belgeleme tekniklerinin yerini daha teknolojik belgeleme yöntemlerine bırakmış, bu da modern belgeleme tekniklerinin hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır [7]. Kültürel mirasların belgeleme çalışmalarında modern belgelemede kullanılan değişik yöntemler vardır. Bunlar klasik, topografik, fotogrametrik ve lazer tarama metotlarıdır [8,10].

Plançete fotogrametrisi ile başlayan fotogrametri bilimi, bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak analog, analitik fotogrametri ve dijital fotogrametri ile gelişme sürecini devam ettirmektedir [11]. Fotogrametri bilimi resimleri kullanarak dijital kameralarla, objenin iki boyutlu (2B) dijital görüntülerinden üç boyutlu (3B) koordinatlarının hızlı, doğru, güvenilir, esnek ve ekonomik bir şekilde elde edilmesini sağlar [12]. Fotogrametrik değerlendirmede kameraların kullanılması için projede kullanılan kameraların kalibrasyonunun yapılmış olması gerekmektedir [13,14]. Kısaca dijital fotogrametrik teknikler kültürel mirasların belgelenmesinde hızlı, etkili, güvenilir ve oldukça verimli bir yöntemdir [15].

Çağdaş ve modern müzecilik anlayışı gelişen teknoloji ile dijital alana kaymaktadır. Bu sayede kültürel mirasın sunumu binalardan çıkarak web ortamında evrensel bir kitleye sergilenme imkânına kavuşmaktadır. Sanal müzelerle birlikte tarihi eserler dünyanın her yerinden internet erişimi olan her bireye ulaşma olanağı sunmaktadır. Bu anlamda yeni teknolojik ürünlerle eserlerin 3 Boyutlu (3B) modellerinin oluşturulması, dijital ortama aktarılması ile eserlerin müzelerin fiziki ortamlarından ve sergilerden çıkarak geniş bir izleyici kitlesine ulaşma olanağı sağlamaktadır. Sanal gezilerin ötesinde 3B modelleme ile çeşitli programlarla yapılabilecek animasyon ve efektlerle tarihi eserlerin estetik güzelliği ve dijital görseelliği bir arada sunulabilecektir. Bu anlamda kültürel ve tarihi önemi olan bir obje veya yerin 3B görünümünden yararlanılarak animasyon, oyun, film ve videolarda kullanılabilir.

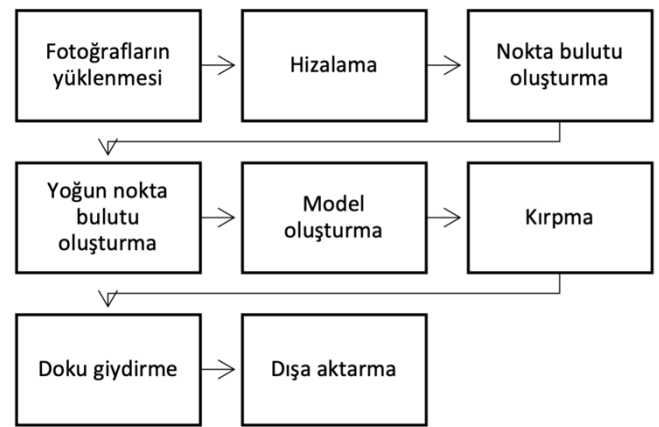
Arkeolojik kazılar sonucunda müzelerle kazandırılan eserlerde geleneksel belgeleme yöntemlerinin kullanılması zaman yönetimi açısından kayıplara neden olmakla birlikte belgelemede 2B

fotoğraf çekimi, teknik resim/rölöve işlemleri insan eliyle yapıldığından hata oranı fazla olmaktadır. Ayrıca arkeolojik bir esere dair geleneksel belgeleme çalışması yapılması çalışmanın çıktısı olan fiziki belgelerin zamanla deforme olmasına ve uzun yıllar arşivlenmesine olanak vermemektedir. Aksaray Müzesi teşhirlerinde bulunan Roma Dönemi Kartal ve Asklepios heykelleri fotogrametrik teknikler kullanılarak yapılan 3B modelleme çalışması ile eserlere ait gerçek boyutlarında modeller üretilmiştir. Yapılan çalışma sonucu üretilen modeller eser dokümantasyonunu oluşturmak, estetik görünümle dijital efektlerin birleştirilmesi, eserlerin geniş kitlelere ulaşılabilirliğinin yanı sıra yapılan çalışmalar ile doğruluk düzeyi yüksek, esnek kullanım olanağı sunan veriler ile zamandan ve emekten tasarruf sağlanması mümkün kılınmaktadır.

## 2. Yöntem

Kültürel ve arkeolojik değerlerin gerçeğini en doğru şekilde örneklenmesi/tasvir edilmesi, kültürel mirasın korunması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle arkeolojik alanların korunması zorunluluk haline almıştır. Belgeleme çalışmaları çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır [16]. Bu yöntemler farklı çalışma alanlarında başarı ile uygulanmaktadır. Özellikle; arkeolojik alanlar, tahrip olmuş yapılar, yıkılma tehlikesi gösteren yapılar ve klasik yöntemlerle ölçülemeyecek yükseklikte olan yerlerde doğru ve hassas bir ölçüm imkânı sunar [17].

Bu çalışma ile Aksaray Müzesinde bulunan Kartal ve Asklepios heykellerinin modellenmesi için Agisoft Metashape programı tercih edilmiştir. Şekil 1'de gösterilen iş akış şemasına uyularak modelleme çalışması tamamlanmıştır.



Şekil 1. Agisoft Metashape işlem akışı.

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Aksaray Müzesinde bulunan Kartal ve Asklepios heykelleri 3B olarak modellenmiştir. 1969

yılından itibaren müzecilik faaliyetini yürüten Aksaray Müzesinin bahçesinde açık teşhirde bulunan Roma Dönemine tarihlenen Kartal Heykeli modelleme için ilk seçilen örnek olmuştur. Aksaray Ulu Camii önünde yer almakta iken Aksaray Müzesinin kuruluşu ile Müze envanterine kazandırılmıştır. Roma dönemine tarihlenen heykel orta kalitedeki mermerden yekpare olarak yapılmıştır. 121 cm yüksekliğinde 63 cm genişliğindedir. Kanatları kapalı olarak kaya üzerine konmuş vaziyettedir. Kanat çizgileri oyularak şekillendirilmiştir. Pençeleri belirgin olarak belirtilmiştir. (Şekil 2).

Kartal figürü Zeus'un atribüleri de tanrının kimliğine uygun şekilde eskiçağın yazınsal kaynaklarında yerini alır. Başlıca atribüleri, göklerin kralı kartal ve yıldırım (demeti) olarak bilinir [18]. Anadolu'da gün ışığına çıkarılan eserlerden özellikle Roma Dönemi arkeolojik eser ve nümizmatik verilerde kartal figürü sıkça betimlenmiştir.

Zeus atribüleri olan kartal ve yıldırım demetini kullanarak cezalandırıcı ve caydırıcılığını insanlar üzerinde kullanmaktadır. Kartal, Zeus'un bu konudaki en büyük yardımcısıdır. Tanrı Zeus kartalı bir cezalandırma aracı olarak kullanmıştır. Yunan mitolojisine göre Zeus, kartalı Prometheus'u cezalandırmak için göndermiş ve kartal zincire vurulmuş olan Prometheus'un her gün tekrar oluşan karaciğerini yemek için görevlendirilmiştir.

Gücün ve hakimiyetin sembolü olan kartal Roma lejyonlarının simgesi haline gelmiştir. Kartal, M. Ö. 1. yy.'da kartalla özdeşleştirilen lejyonlar için Roma ordusunun gücünü temsil eder nitelikteydi. Lejyonların simgesi haline gelen kartal figürü ve heykelleri Mısır'dan İtalya'ya kadar uzanan Roma İmparatorluğunun hakimiyet alanında geniş bir coğrafyada yaygınlık göstermektedir.

Kartal, Helenistik Dönemde M.Ö 3. yy.' dan beri Ptolemaios sikkelerinde basılan sikkelerin arka yüzüne yıldırım demeti ile darp edilmiştir. Helenistik Dönem ve Roma Dönemi sikkelerinde kartal figürü yaygın olarak kullanılmıştır.

Modellenmek üzere ikinci olarak yine Aksaray Müzesinde sergilenen Asklepios heykeli seçilmiştir. Asklepios heykeli dikdörtgen bir kaide üzerinde yükselmektedir. Heykelinin yüz hatları ve sakalları belirgin olarak yapılmış, saçlar ortadan ikiye ayrılarak sağ ve sola atılı bukleli olarak oyulmuştur. Kalın himation sol omuzdan dikey kıvrımlarla indirilmiştir. Sol kol himation altında kalmış bu nedenle kol detayları belirgin değildir. Sağ kol ise omuzdan itibaren kırıktır. Diz altından ve ayak bileklerinden kırılmış olan heykel sonradan birleştirilmiştir. (Şekil 3).

Yunan tıbbında tanrısal güçlerin yardımıyla iyileştirme geleneğinin başlangıcında Asklepios kültü yer almaktadır. Yaşayıp yaşamadığı tam olarak

bilinmeyen Antik Yunan tedavi sanatının kurucusu Asklepios zaman içinde tanrılaştırılmıştır. Kült Yunan tanrılar panteonuna görece geç katılmış olmakla birlikte kısa süre içinde yerel kimliğini aşarak İ.Ö. 6. yüzyılda tüm Yunanistan'da tanınan ve saygı duyulan çok yönlü bir sağlık tanrısı haline gelmiştir [19].



Şekil 2. Kartal heykeli ölçekli fotoğrafı.



Şekil 3. Asklepios heykeli ölçekli fotoğrafı.

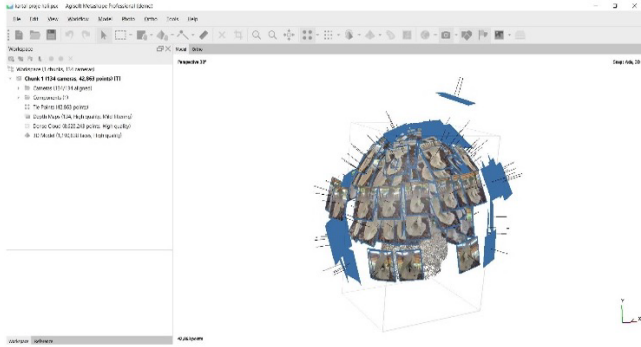
## 2.2. Uygulama

Eserlerin 3B modellerin oluşturulması amacı ile eserlerin dairesel yönde farklı uzaklık ve açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraf çekimi teknik özellikleri Tablo 1’de verilen Canon EOS 6D ile yapılmıştır.

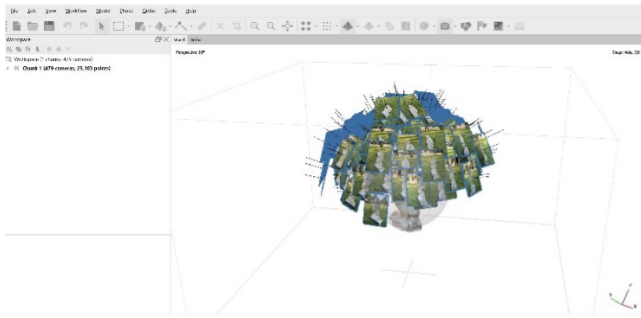
**Tablo 1.** Kamera teknik özellikleri .

<b>Model</b>	Canon EOS 6D
<b>Tür</b>	36 x 24 mm CMOS
<b>Etkin Piksel</b>	~20.2 megapiksel
<b>Toplam Piksel</b>	~20.6 megapiksel
<b>En Boy Oranı</b>	3:2
<b>Düşük Geçiş Fitresi</b>	Flor kaplamalı

Fotoğraf çekimleri tamamlanan eserlerin görüntüleri Şekil 4 ve Şekil 5’ de gösterildiği üzere Agisoft Methasape programına yüklenerek fotoğraf hizalamaları yapılmıştır.

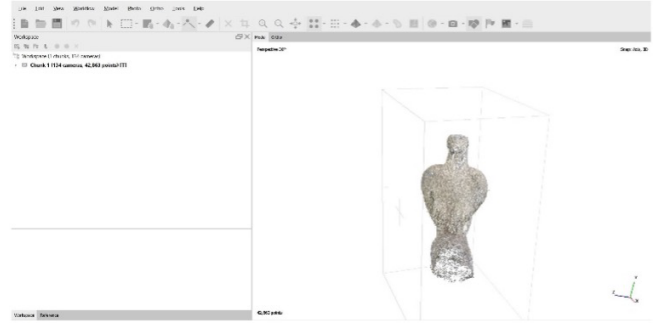


**Şekil 4.** Kartal heykelinin programına yüklenmesi ve hizalanması.

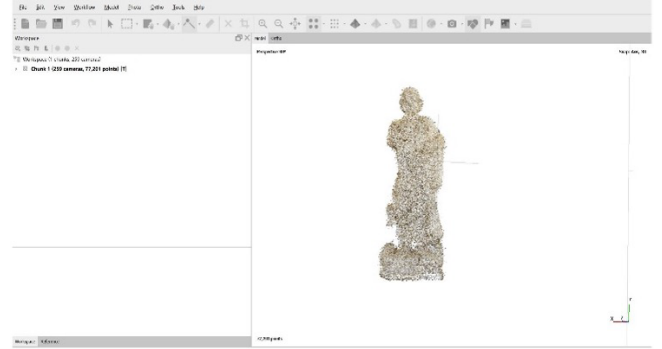


**Şekil 5.** Asklepios heykelinin programına yüklenmesi ve hizalanması.

Kartal heykeli için 134 adet fotoğraf, Aklepios heykeli için 259 adet fotoğraf sisteme eklenmiştir. Eklenen fotoğraflar ile sırasıyla align photos (fotoğraf hizalama), build dense cloud (yoğun nokta bulutu oluştur) komutları izlenerek eserlerin Şekil 6 ve Şekil 7’de görüldüğü üzere yoğun nokta bulutları oluşturulmuştur. Yoğun nokta bulutu üzerinde fazla kısımlar rectangle selection, circle selection ve free-form selection seçenekleri ile kırılmıştır.



**Şekil 6.** Kartal heykelinin yoğun nokta bulutu.



**Şekil 7.** Asklepios heykelinin yoğun nokta bulutu.

Bu aşamadan sonra sonra Agisoft Metashape programında build mesh seçeneği ile model oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerine build texture seçeneği ile Şekil 8 ve Şekil 9’da görüldüğü üzere fotoğraf dokuları bindirilmiştir.

Agisoft Methasape profesyonel sürümde fotoğraflarda yer alan ölçklere markerler eklenerek modelin ölçeklendirilmesi yapılmıştır.



**Şekil 8.** Kartal heykelinin oluşturulan 3B modeli.



**Şekil 9.** Asklepios heykelinin oluşturulan 3B modeli.



### 3. Bulgular ve Tartışma

Arkeoloji ve müzecilik çalışmalarında teknik çizim, ölçekli manuel fotoğraflama gibi uzmanlık ve tecrübe gerektiren yöntemlerle hata oranı fazla olan belgeleme teknikleri kullanılmaktadır. Yapılan teknik çizimlerin elde yapılmasına bağlı olarak insan kaynaklı hata oranları yüksek olmaktadır. Bu belgeleme yönteminde fiziki olarak elde edilen çizim vb. dokümanlar saklanması ve korunması gibi problemleri beraberinde getirmektedir.

Fotogrametri yardımıyla 3B model oluşturma çalışmalarında Meshroom, 3DF Zephyr, Photomodeler vb. programlar kullanılmaktadır. Bu programların arasında Agisoft Methasape programı gerçekçi doku kaplama, yüksek çözünürlükte veri üretebilme kapasitesi ve kullanım kolaylığı ile ön plana çıkmaktadır. Klasik yöntemlere göre fotogrametrik yöntemler pratiklik ve zaman açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Arkeolojik eserlerin belgeleme ve dokümantasyon işleri klasik yöntemlerde büyük emek ve zaman gerektiren olgulardır. Fotogrametri yöntemi ile yapılan modelleme arkeolojik eserlerin belgeleme ve korunması noktasında daha verimli, ekonomik ve pratik bir yöntem olarak görülmektedir.

Aksaray Müzesi envanterine kayıtlı kartal heykeli ve Asklepios heykelinin yüksek çözünürlükte 3B modelinin oluşturma çalışmaları kapsamında fotoğraflar Canon 6 D fotoğraf makinesi ile çekilmiştir. Bu çalışmada eserlerin Agisoft Methasape programında 3B modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda fotogrametrik yöntemlerle milimetrik hassasiyette arkeolojik eserin gerçek boyutlarında 3B modellerinin oluşturulması sağlanmış olup, söz konusu yöntem zaman, maliyet ve işgücü bakımından geleneksel yöntemlere göre çok daha fazla avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte fotogrametrik belgeleme yöntemleri uzun uğraşlar isteyen geleneksel belgeleme yöntemlerine kıyasla çağdaş müzecilik anlayışına uygun veri elde etme, işleme, teknolojik imkanlarla birlikte sunumuna katkı sağlamaktadır.

#### 3.1. Fotogrametrik Analizler

Asklepios heykeli için 259 fotoğraf çekilmiştir 259 adet fotoğraftan 77,201 nokta bulutu ve 2.227.718 yoğun nokta bulutu üretilmiştir. 3B model üzerinde 46,391 adet üçgen yüzey oluşturulmuştur.

Kartal heykeli için 134 adet fotoğraftan 42,863 nokta bulutu ve 8,623,245 yoğun nokta bulutu üretilmiştir. 3B model üzerinde 1.190,838 üçgen yüzey üretilmiştir.

Yüksek çözünürlükte çekilen fotoğraflardan oluşan modellemede Asklepios heykeli için medium quality kartal heykeli için ise high quality model oluşturulması tercih edilmiştir.

### 4. Sonuçlar

Anadolu coğrafyasının kadim uygarlık eserlerinin korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ülkemiz kültür ve sanat değerleri açısından büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda eserlerin gelişen teknolojik imkanlarla 3B modellenmesi ile dijital dünyaya aktarılması amaçlanmıştır. Oluşturulan modeller eserlerin kayıt/belgeleme çalışmaları ile birlikte dijital sergi ile mekansal sınırlamaların dışına çıkarılarak erişilebilirliği artırılması amaçlarına hizmet edebilecektir. Agisoft Metashape programında oluşturulan modeller obj. formatında kaydedilerek Microsoft 3B görüntüleyici uygulamasına aktarılmıştır. Bu sayede döner platform üzerinde eserler hareketli olarak görüntülenmektedir. Yapılan çalışma ile eserlerin farklı yönlerden dijital ortamda görüntülenmesi sağlanmıştır. Ayrıca obj. Formatında kaydedilen modeller Autodesk 3D Max programı yardımıyla farklı sahnelerde görsel efektler ile farklı kompozisyonlar oluşturma çalışmaları için altlık olarak kullanılabilir konuma gelmiştir.

Üretilen 3B modeller klasik belgeleme anlayışına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Eserlerin 2B görsellerinin ötesine geçerek dijital ortamda 3B olarak arşivlenmesine olanak vermektedir. Böylelikle bozulma yıpranma durumlarında eserlerin restorasyon ve konservasyon işlemlerinde büyük kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca deprem vb. yıkıcı doğal afetler, savaş ve vandalizm gibi beşeri sebepler nedeniyle yok olma tehlikesi olan kültür varlıklarını gelecek kuşaklara dijital belgeleriyle birlikte aktarımı sağlanarak modern müzecilik anlayışına yeni bir boyut kazandıracaktır.

#### Yazarların Katkısı

**Şükran Tosun Çolak:** Veri toplama, uygulama, yazma.  
**Avşar Timuçin Çolak:** Veri toplama, uygulama, yazma.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

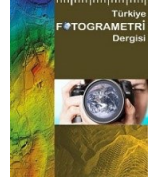
- [1] Yakar, M., Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2013). 3D modeling of historical Döğer caravansaries by digital photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(2).
- [2] Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği.

- TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- [3] Yılmaz, H. M., Karabörk, H., & Yakar, M. (2000). Yersel fotogrametrinin kullanım alanları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1).
- [4] Mohammed, O., & Yakar, M. (2016). Yersel Fotogrametrik Yöntem ile İbadethanelerin Modellenmesi. *Selçuk University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 85-95.
- [5] Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yakar, M. (2019). Modeling of Historical Fountains by Using Close-Range Photogrammetric Techniques. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 1-6.
- [6] Pulat, F., Yakar, M., & Ulvi, A. (2022). Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 30-40.
- [7] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [8] Yakar, M., Yılmaz, H. M., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H., & Çelik, H. (2010). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3 Boyutlu modelleme Çalışması ve Animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).
- [9] Yakar, M., & Kocaman, E. (2018). Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-boyutlu modelleme çalışması ve animasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 133-138.
- [10] Şasi, A., & Yakar, M. (2017). Photogrammetric modelling of sakahane masjid using an unmanned aerial vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87.
- [11] Yılmaz, H. M., Karabörk, H., & Yakar, M. (2000). Yersel fotogrametrinin kullanım alanları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1).
- [12] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- [13] Alyılmaz, C., Alyılmaz, S., & Yakar, M. (2010). Measurement of petroglyphs (rock of arts) of Qobustan with close range photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 29-32.
- [14] Taşdemir, Ş., Ürkmez, A., Yakar, M., & İnal, Ş. (2009). Sayısal görüntü analiz işleminde kamera kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs.
- [15] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röleve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- [16] Yakar, M., & Yılmaz, H.M. (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Röleve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.
- [17] Erginçan, F., Avdan, U., Tün, M., & Çabuk, A. (2009). Patara Hurmalık Hamamında Yürütülen Mimari Belgeleme ve Modelleme Çalışmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi*.
- [18] Hakman, M. (2013). Bir Anadolu Tanrısı Olarak Zeus'un Tabiat İle İlişkisi Üzerine Bir Gözlem. *Acta Turcica*, 5(1), 1-18.
- [19] Akın, H. (2008). Asklepios Kültü Ve Tanrısal Şifa-The Myth of Asclepius and Divine Healing, 1-11.



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Yerel Yönetimlerde Kaçak Yapı Tespitinde İHA Kullanımı: Keçiören Belediyesi Örneği

Ahmet Ulukök <sup>1\*</sup>, Ali Ulvi <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Keçiören Belediyesi, 06310, Ankara, Türkiye; (ahmetulukok@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
ahmetulukok@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Ulukök, A., & Ulvi, A. (2023). Yerel Yönetimlerde Kaçak Yapı Tespitinde İHA Kullanımı: Keçiören Belediyesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 07-19.

Geliş : 27.04.2023  
Revize : 07.06.2023  
Kabul : 15.06.2023  
Yayınlama : 30.06.2023

### Özet

Yasadışı yerleşimler (gecekondu yerleşimleri), çoğu gelişmekte olan ülkede ve hatta bazı gelişmiş ülkelerde devam eden bir sorun olmuştur. Bu, büyük miktarlarda para, kaynak, zaman ve enerji kaybına yol açmıştır. Kentleşmenin yoğun olduğu alanlarda, arazi operasyonlarını doğru coğrafi haritalama ve izleme ile takip etmek oldukça maliyetlidir. Daha fazla zaman ve emek gerektirir. Denetim düzenli olarak yapılamaz. Bazen bir görevi altı ay veya bir yıl içinde tamamlamak imkânsızdır. Bu nedenle, bu işlemleri gerçek zamanlı olarak havadan bir bakış açısıyla otomatikleştirmek daha pratiktir. Uzaktan algılama ve İHA teknolojilerindeki gelişmeler, bu teknolojilerin kullanıldığı tüm sahalara paralel olarak haritacılık sektöründe de kendini göstermiştir. İmar planları ile dizayn edilen ya da edilmesi gereken şehirler için en büyük sorun kaçak yapılaradır. Kentlerin varlığını tehdit eden kaçak yapıların tespiti daha önceleri çok sayıda personel ve zaman gerektiren bir işlemken, gelişen İHA teknolojileri sayesinde artık daha kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sayede kaçak yapılaşmanın getirdiği plansız kentleşme ve sosyo-ekonomik sorunların önüne geçilmektedir. Bu çalışmada bir sabit kanatlı İHA ile havadan görüntüleme yapılmış olup iki farklı zamana ait ortofotolar üretilmiştir. Üretilen Ortofotolar üzerinde alana ait 163 adet kaçak yapı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan algılama, İHA fotogrametrisi, SfM, kaçak yapı.

## Use of UAVs in Detection of Illegal Construction in Local Governments: The Case of Keçiören Municipality

\*Corresponding Author:  
ahmetulukok@hotmail.com

### Research Article

**Citation:** Ulukök, A., & Ulvi, A. (2023). Use of UAVs in Detection of Illegal Construction in Local Governments: The Case of Keçiören Municipality. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(1), 07-19 (in Turkish).

Received : 27.05.2023  
Revised : 07.06.2023  
Accepted : 15.06.2023  
Published : 30.06.2023

### Abstract

Illegal settlements (squatter settlements) have been an ongoing problem in most developing countries and even in some developed countries. This has led to the loss of large amounts of money, resources, time, and energy. In areas of dense urbanization, it is quite costly to track land operations with accurate geographic mapping and monitoring. It requires more time and labor. Inspection cannot be done regularly. Sometimes it is impossible to complete a task within six months or a year. Therefore, it is more practical to automate these processes in real-time from an aerial perspective. Developments in remote sensing and UAV technologies have manifested themselves in the mapping sector in parallel with all fields where these technologies are used. The biggest problem for cities that are or should be designed with zoning plans is illegal structures. While the detection of illegal structures, which threaten the existence of cities, was previously a process that required a large number of personnel and time, it can now be done more easily and quickly thanks to the developing UAV technologies. In this way, unplanned urbanization and socio-economic problems caused by illegal construction are prevented. In this study, aerial imaging was performed with a fixed-wing UAV, and orthophotos of two different times were produced. On the orthophotos produced, 163 illegal structures belonging to the area were detected.

**Keywords:** Remote sensing, UAV photogrammetry, SfM, unlawful building.

## 1. Giriş

Son yıllarda veri toplama yöntemlerinde yaşanan gelişmeler, konumsal verilerin kullanım amacını da değiştirmiştir. Konumsal verilerin değerlendirilmesinde veri toplama kapasitesi arttıkça, verilerin işlenmesinde ihtiyaç duyulan otomasyon gereksinimi de artmaktadır. Bu durum mevcut haritaların güncellenmesi, haritaların yeniden üretilmesi, kaçak yapı tespiti veya şehirlerde meydana gelen diğer değişimlerin tespiti konularında, bu verilerin işlenmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla konumsal verilerin bilgiye dönüşmesi işlemi süreklilik isteyen bir durumdur. Çünkü insanların yaşadığı çevre sürekli değişen ve gelişen bir yapıya sahiptir.

Ruhsatsız olarak inşa edilen yapılar, kentsel dokunun ve kentsel estetiğin varlığını uzun yıllardır tehdit etmektedir. Ekonomik ve sosyal refahın düşüklüğü, insanların barınma ihtiyacını daha ekonomik ve hızlı şekilde çözmeye itmiş, bu durum da çarpık kentleşme ve kaçak yapılaşmayı beraberinde getirmiştir.

Türkiye’de kaçak yapılaşma ile uzun yıllar mücadele eden yerel yönetimlerin en büyük problemi tespit ve denetim olmuştur. Yapılacak denetim ve tespitlerin, personel eksikliği ve uzun zaman alması sebebiyle; problem, ağır aksak ilerleyen ama bir türlü çözülemeyen ve önlenemeyen, bazen giderek büyüyen bir hal almıştır.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin ilerlemesi ile tespit ve denetim işlemleri daha kolay ve hızlı bir şekilde izlenmekte, tespit edilmekte ve raporlanabilmektedir. Özellikle uzaktan algılama ve İHA alanındaki gelişmeler, kaçak yapılaşmanın tespiti aşamasına önemli katkılar sunmaktadır. Artık aynı alana ait sürekli aralıklarla yapılan fotogrametrik verilerin karşılaştırılması ile kaçak yapılar daha hızlı tespit edilebilmektedir.

Bu alandaki ilk çalışmaların [1-5] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar hava fotoğrafları, uydu görüntüleri üzerine yapılmıştır. 2007’ den sonra fotogrametrik bir yaklaşım olarak eğik hava fotoğrafları da bina tespiti çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır [20].

İHA’lar ile yapılan çalışmalar çoğunlukla bina modellemeye yönelik olsa da bina tespiti ile ilgili [6-10] çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışma ise Keçiören ilçesinde bulunan Çalseki Mahallesinde İHA vasıtası ile iki farklı zamanda uçuş yapılarak, bindirmeli görüntüler toplanmış ve toplanan verilerden, Ortofoto ve DEM üretilmiştir. Elde edilen bu verilerin karşılaştırılması sureti ile kaçak yapılar tespit edilmiştir.

## 2. Yapıların Sınıflandırılması

### 2.1. Yapı Nedir?

Çalışmada 3194 Sayılı İmar Kanunu’nun 5. maddesinde YAPI; “karada ve suda, daimi veya muvakkat, resmi ve hususi yeraltı ve yerüstü inşaatı ile bunların ilave, değişiklik ve tamirlerini içine alan sabit ve müteharrik tesislerdir.” şeklinde tanımlanmıştır. Görüldüğü üzere YAPI kavramının çok geniş bir uygulama alanı mevcuttur. Yapı denilince akla ilk gelen binalardır. Fakat bina niteliğinde olmayan çok farklı nitelikte imalatlar da yapı olarak kabul edilmektedir. Bir imalatın yapı niteliğinde olup olmadığının belirlenmesindeki en belirleyici unsur “inşai” bir faaliyet olup olmadığıdır.

### 2.2. Bina Nedir?

3194 Sayılı İmar Kanunu’nun 5. maddesinde BİNA; “Kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü ve insanların içine girebilecekleri ve insanların oturma, çalışma, eğlenme veya dinlenmelerine veya ibadet etmelerine yarayan, hayvanların ve eşyaların korunmasına yarayan yapılardır.” şeklinde tanımlanmıştır. Görüldüğü üzere bina, yapıya göre daha dar bir tanıma sahiptir. Bina niteliğinde olmasa dahi, yapı olarak kabul edilen istinat duvarı, iskele, temel betonu gibi imalatlar için, İmar Kanunu’nun 21. Maddesine göre ruhsat alınması zorunludur. Aksi takdirde, yıkım ve para cezası müeyyideleri uygulanır.

### 2.3. Kaçak Yapı Nedir?

Bina niteliğinde olan imalatlar da Yapı tanımının kapsamına girdiğinden, İmar Kanunu’nun 32. ve 42. maddelerinin uygulaması bakımından, bir imalatın YAPI veya BİNA niteliğinde olması arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır. Ruhsatsız olarak yapılan bir imalat hakkında, ister bina niteliğinde olsun, isterse bina niteliğinde olmayan yapılardan olsun, İmar Kanunu’nun 32. ve 42. maddeleri uyarınca yıkım ve para cezası müeyyideleri uygulanabilir. Yapı ve Bina arasındaki fark, Türk Ceza Kanunu’nun 184. maddesinde düzenlenen “İmar Kirliliğine Neden Olma” suçunda karşımıza çıkmaktadır. TCK’nın 184. maddesinin birinci fıkrasındaki suçun oluşabilmesi için failin yapı ruhsatı almada veya ruhsata aykırı olarak bina yapması ya da yaptırmayı gerektirmektedir. TCK’nın 184. maddesinin birinci fıkrasında düzenlenen suçun konusu, belediye sınırları veya özel imar rejimine tabi yerlerde bulunan binadır.

Bu anlamda, belediye sınırları veya özel imar rejimine tabi yerler dışında bulunan binalar, anılan düzenlemenin kapsamına girmemektedir. Binanın mutlaka betonarme olması gerekmeyip ahşap binalar da TCK'nın 184. maddesinin birinci fıkrası kapsamındadır. Yine bu suç bakımından binanın ruhsata tabi olması yeterli olup belirli bir genişlikte veya yükseklikte olmasına gerek yoktur. Maddede belirtilen "bina" kavramından ne anlaşılması gerektiğine ilişkin herhangi bir açıklamaya yer verilmemiş olup, bu kavram İmar Kanunu'nun 5. maddesine göre belirlenmektedir. TCK'nın 184. maddesinin birinci fıkrasında yalnızca binadan söz edilmiş olup "yapı" kavramına yer verilmemiştir. Mevcut bir bina üzerinde ve binanın kapsamı dâhilinde olmak koşuluyla, İmar Kanunu'nun 21. maddesinin 3. fıkrası uyarınca "Derz, iç ve dış sıva, boya, badana, oluk, dere, doğrama, döşeme ve tavan kaplamaları, elektrik ve sıhhi tesisat tamirleri ile çatı onarımı ve kiremit aktarılması ve yönetmeliğe uygun olarak mahallin hususiyetine göre belediyelerce hazırlanacak imar yönetmeliklerinde belirtilecek taşıyıcı unsuru etkilemeyen diğer tadilatlar ve tamiratlar" ruhsata tabi olmadığından, yapılan değişikliğin bu kapsamda kalması hâlinde suç oluşmayacaktır.

Ancak, yasal düzenlemede sayılan hususlar dışında yapılan değişikliklerin mutlaka imar kirliliğine neden olma suçunu oluşturacağı sonucuna ulaşılmamalıdır. İmar Kanunu'nun 21. maddesinin üçüncü fıkrasında belirtilen sınırlamalar dışında kalan değişiklikler bakımından imar kirliliğine neden olma suçunun oluşabilmesi için; Söz konusu değişikliklerin ya İmar Kanunu'nun 5. maddesi anlamında bina olarak nitelendirilmesi, Ya da yapılan esaslı tadilatların binanın taşıyıcı unsurunu etkilemesi gerekmektedir. Yapılan değişikliklerin bina olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğinde başvuru ölçütlerinden birisi, bunların "esaslı tadilat" kapsamında kalıp kalmadığıdır. Esaslı tadilat, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nin 4. maddesinin (y) bendinde; "Yapılarda taşıyıcı unsuru etkileyen veya yapı inşaat alanını veya emsale konu alanını veya taban alanını veya bağımsız bölüm sayısını veya ortak alanların veya bağımsız bölümlerin alanını veya kullanım amacını veya ruhsat eki projelerini değiştiren işlemler" şeklinde tanımlanmış ve esaslı tadilatın ruhsata tabi olduğu ifade edilmiştir.

Yargıtay uygulamalarına göre de sonradan ruhsata aykırı olarak yapılan değişikliklerin bina niteliğinde olup olmadığının değerlendirilmesinde binanın taşıyıcı unsurunu etkileyip etkilemediği veya alan kazanma niteliğinde olup olmadığı hususları dikkate alınmaktadır. Yine İmar Kanunu'nun 5. maddesine uygun kapalı alanda kullanılan malzemenin kalıcı olup olmadığı ve değişikliğin sabit şekilde yapıldığı

yapılmadığı da Yargıtay Özel Ceza Dairelerince değişikliklerin bina vasfında olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütlerdendir. (Yargıtay Ceza Genel Kurulu, 06.11.2018 tarih, E:2015/176, K:2018/503).

Yapılan değişiklikler bina olarak nitelendirilemiyorsa, İmar Kanunu'nun 21. maddesinin 2. fıkrasına aykırı davranılması nedeniyle aynı Kanun'un 32. ve 42. maddelerinde belirtilen idari yaptırımların uygulanmasıyla yetinilmelidir. Buna karşın, yapılan değişikliklerin İmar Kanunu'nun 5. maddesi anlamında bina vasfını taşıması durumunda TCK'nın 184. maddesinin birinci fıkrasındaki imar kirliliğine neden olma suçu da oluşacaktır [41].

### 3. Uzaktan Algılama ile Bina Tespit Yöntemleri

Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bina tespitinin farklı yöntemleri olmakla birlikte, en bilinen ve en çok kullanılan yöntemleri şöyle sıralayabiliriz.

Uzaktan algılama, yeryüzündeki nesnelere veya olayları uzaktan tespit etmek ve analiz etmek için kullanılan bir teknolojidir. Binaların tespiti konusu da uzaktan algılama teknikleri arasında yer almaktadır. Bazı yaygın kullanılan bina tespit yöntemleri:

**İnsansız Hava Araçları (İHA):** İHA'lar, havadan yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörler aracılığıyla binaları tespit etmek için kullanılabilir. İHA'lar, geniş alanları kısa sürede tarayabilir ve çekilen görüntüler üzerinde nesne tespiti ve analiz yapabilir.

**Uydu Görüntüleri:** Uydu görüntüleri, yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörler kullanarak geniş alanları tarayabilir. Bu görüntülerdeki veriler, binaların tespit edilmesi için kullanılabilir. Uydu görüntüleri, yeryüzündeki bina dağılımını haritalandırmak ve yerleşim alanlarını analiz etmek için de kullanılabilir.

**Lazer Tarama:** Lazer tarama veya LIDAR (Işıklılandırma ve Uzaklık Algılama) teknolojisi, yüksek yoğunluklu lazer ışınları kullanarak çevredeki nesnelere tespit etmek için kullanılır. Binaların tespiti için, lazer ışınları binaya yansır ve bu yansımaları alarak 3B nokta bulutları oluşturulabilir. Bu nokta bulutları, binaların dijital modellerini oluşturmak ve analiz etmek için kullanılabilir.

**Yüksek Çözünürlüklü Görüntü İşleme:** Gelişmiş görüntü işleme algoritmaları kullanarak, uydu görüntüleri veya hava fotoğrafları üzerinde binaları tespit etmek mümkündür. Renk, şekil, yapısal özellikler ve gölgeler gibi farklı öznitelikler kullanılarak binalar belirlenebilir.

**Termal Görüntüleme:** Termal kameralar, nesnelere yaydığı kızılötesi enerjiyi algılar. Binalar, çevrelerinden farklı bir ısı iz bırakabilirler. Bu termal izler, termal görüntüleme teknikleriyle tespit edilebilir.

Bu yöntemlerin kombinasyonu veya farklı veri kaynaklarının birleştirilmesi, daha kesin ve kapsamlı bir bina tespit sonucu sağlayabilir. Bu tür teknikler, kentsel planlama, afet yönetimi, arazi kullanımı analizi ve diğer alanlarda önemli bilgiler sağlayabilir. Ancak her yöntemin kendine has avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır.

### 3.1. Uydu Fotoğrafları Kullanılarak Yapılan Tespitler

Ay ve Namlı (2017) [40] yaptıkları bir çalışmada uydu fotoğrafları taranarak orman arazisi, boş arazi, ekili arazi, maden ocağı ve kaçak konutlar görüntü işleme teknikleri ve yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilerek sınıflandırılmıştır. Bu sayede kaçak yapıların tespit edilmesi uydu ve insansız hava araçları ile çekilen fotoğraflar ile eş zamanlı olarak takip edilebilecektir. 117 adet veri seti için yapılan çalışma sonucunda; Görüntü filtrelerinin; Edge Histogram Filter, Auto Color Collerogram Filter, Gabor Filter ve FCTH Filter filtreleri kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma işlemlerinin yapılmasında Bayes Ağları, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve J48 Karar Ağacı makine öğrenme teknikleri kullanılarak 16 farklı sonuç elde edilmiştir. Sonuç olarak değerlendirildiğinde "FCTH Filter" filtresinin "Destek Vektör Makineleri (SMO)" sınıflandırma tekniği doğruya en yakın sonucu verdiği ispatlanmıştır. Bu sonuçlar ile veriyi doğru sınıflama oranı yaklaşık olarak %97, bu sınıflandırmanın güvenilirlik katsayısı ise yaklaşık %96 gibi yüksek doğruluklu olarak görülmüştür [11].

### 3.2. Yersel Lazer Tarama Yöntemleri

Yersel lazer tarama (YLT) teknolojisi birçok meslek dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendisler, mimarlar, arkeologlar, biyologlar, tarihçiler, doktorlar vb. birçok meslek lazer tarama teknolojisi kullanarak ölçümler yapmakta ve modeller üretmektedir [13]. Yersel lazer tarama tekniğinin kullanıldığı en önemli alanlardan bir tanesi de kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarıdır. Geçmişten günümüze, nesilden nesile aktarılmış birçok tarihi eser ve yapı bulunmaktadır ve bu yapıların gelecek nesillere aktarılması büyük önem arz etmektedir. YLT teknolojisi kullanılarak tarihi yapıların belgelenmesi işlemine dair çalışmalara literatürde de sıklıkla rastlanmaktadır. Bir anıt mezarın 3B olarak modellenmesi [14-18] (Erene & Yakar, 2012; Yakar vd., 2005; 2009; Alptekin vd. 2019a; 2019b), tarihi bir kalenin nokta bulutu verisinin elde edilmesi [19] (Ulvi & Yakar 2014) gibi örnekler YLT teknolojisi ile tarihi yapıların ve kültürel mirasın 3B olarak başarıyla belgelenbildiğini göstermektedir [20].

### 3.3. Yersel Fotogrametri Yöntemleri

Yersel fotogrametri tekniği, cisimlerin fotoğrafları yer üzerinde elde edilerek değerlendirildiği bir fotogrametri tekniğidir. Yersel fotogrametri özellikle yanına yaklaşılamayan fakat görüntüsü elde edilebilen objelere ait ölçümlerde, hareket halinde bulunan objelerin ve nesnelerin ölçümünde ve fiziksel boyutları farklı olan objelerin (büyük/küçük) ölçümlerinde kullanılan bir tekniktir [21]. Ölçümü yapılan nesne üzerinde istenilen şekilde ve yoğunlukta nokta seçimi yapılabilir. Elde edilen koordinat bilgilerine ait zaman boyutu ele alınarak nesneye ait bütün ölçü noktaları iz düşürülebilir, böylece nesneye ait o andaki hareket durumu canlandırılarak incelenebilir. Aynı zamanda kayıt altına alınan görüntülerdeki veriler her zaman değerlendirilebilir. Bu da tarihi önem arz eden yapıların ve eserlerin belgelenmesi ve arşivlenmesi adına son derece önem teşkil etmekteydi. Yersel fotogrametri tekniğinin uygulanabilmesi için; Fotoğraf alım merkezinin yer üzerinde olması, Çalışma yapılacak arazi üzerinde fotoğraf alımı için uygun ve araziye hâkim noktaların bulunması, Arazinin yüzeyinin açık olması gerekmektedir [22].

Bir nesnenin yersel fotogrametrik araştırması, yerden bir kamera istasyonundan alınan görüntülere dayanır. Geleneksel fotogrametride en sık stereoskopik yöntem kullanılır. Normal durumda, her iki optik kamera eksenini de tabana normaldir (taban, iki perspektif merkezi arasındaki düz çizgidir) ve birbirine paraleldir [23]. Bir cismin her noktasının en az iki fotoğrafta görünmesi stereofotogrametrinin bir gereğidir. Pratikte iki görüntü arasında %60-70 örtüşme kullanılırken teorik minimum %50 dir. Stereo görüntüler nesnenin etrafında alınmalıdır.

Fotogrametri, her şeyden önce, görüntülerden üç boyutlu nesnelerin yeniden yapılandırılması için kullanılır. Fotoğraf çekerken hava koşulları önemlidir, ideal durumda tüm nesnenin aydınlatması eşit olmalı, gölgeli ve aydınlatılmış kısımlar arasında çok büyük farklardan kaçınılmalıdır [24].

### 3.4. Hava Lazer (LİDAR) Tarama Yöntemleri

LiDAR (Light/Laser Detection and Ranging) günümüzde farklı amaçlar için çok sık kullanılan bir teknolojidir. Hızlı bir şekilde yüksek doğruluğa sahip referanslandırılmış 3B veri elde etmede kullanılan popüler bir sistemdir. Çünkü yüksekliğe ilişkin bilgiler birçok uygulama için hayati önem taşımaktadır. Yükseklik bilgisini içeren modeller jeolojiden hidrolojiye, haritacılıktan şehirciliğe, risk yönetiminden askeri uygulamalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Laser Ranging, Laser Altrimetry, Laser Scanning ve Laser Detection and Ranging olarak da bilinen sistem, Radar benzeri bir

mantıkla çalışmaktadır fakat radar sistemlerinden farklı olarak radyo dalgaları yerine lazer ışınları kullanarak gerekli yükseklik bilgisini elde eder [25]. 1960'ların sonlarında geliştirilen sistemin ilk ticari LiDAR haritalama sistemi 1993'te geliştirilerek topografik harita üretiminde kullanıldı [26]. Lazer tarayıcı sistemleri kullanılarak SYM üretimi metodu üzerine tartışmalar ilk kez 1994 yılında Almanya'da Ölçme ve Haritalama Birimi (Surveying and Mapping Agency-SMA) tarafından başlatıldı[27]. Bu konuda tartışmalar sürerken 1996 yılından sonra birçok şirket tarafından çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere üretilerek haritalar için LiDAR sistemleri oluşturulmaya başlandı [25]. Son yıllarda LiDAR teknolojisinin hızla gelişmesini sağlayan birçok yatırım ve araştırma da yapılmıştır.

LiDAR sistemleri, kuruldukları platformlar temel alınarak iki grupta toplanabilir: Hava LiDAR sistemleri – Airborne LiDAR Systems (ALS) ve Yersel LiDAR Sistemleri – Terrestrial LiDAR System (TLS).

Günümüzde ALS ile elde edilen ölçümlerin yatay ve düşey doğruluğu fotogrametrik yöntemleri yakalamış durumdadır. Bir ALS sistemi platform olarak uçak, helikopter veya İnsansız Hava Aracı (İHA)'na monte edilebilir. Sistem, bir lazer tarayıcı, GPS ve IMU'dan oluşmaktadır. Lazer tarayıcı uçağın altına monte edilir. Bunların dışında bilgisayar ve kayıt cihazı da sistem de mevcuttur. İstenirse fotoğraf çekme makinası da sisteme dâhil edilebilir.

Hava fotoğrafları ve Lidar beraber kullanılarak topografik ya da tematik haritalar üretilmektedir. Lidar yükseklik modeli kullanılarak yol, yerleşim yeri ya da demir yollarının planlamasında kolaylık sağlar. [28]

### 3.5. İHA Fotogrametrisi

#### 3.5.1. İHA'nın Tanımı ve Çeşitleri

İHA'nın birçok kurum ve kuruluş tarafından farklı tanımları mevcuttur. Bunlara ek olarak akademik araştırmacılar tarafından yapılan tanımlar da bulunmaktadır. Örneğin Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization-NATO)'ne göre; İHA'nın tanımı, insan dışı uzaktan kumanda ile otonom bir şekilde hareket edebilen, ana gövdeden yüklenip çıkartılabilen ve indirilebilen yararlı bir veri toplama ve iletme aracıdır. Küresel Hava Trafik Yönetimi Operasyonel Konsepti (The Global Air Traffic Management Operational Concept) uyarınca insansız hava aracı; içerisinde pilotu bulunmayan araçlar olarak tanımlanmaktadır. Kahveci ve Can (2017) [29] yaptıkları bir çalışmada İHA'yı: İçinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca uygun ekipman (video kamera, fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir çeşit

uçak olarak tanımlamışlardır. Torun (2017) [30] İHA tanımı olarak: Pilotsuz hava aracı sistemi, uzaktan pilotaj kontrol sistemi ve bu ikisi arasında komuta-kontrol iletişim ortamı olmak üzere oluşan üç bileşenden oluşan entegre sistemler bütünü, demiştir. Ayrıca Drone terimi İHA terimi ile eşanlamlıdır. Hobi amaçlı kullanımlar için Drone, askeri amaçlı kullanımlar için İHA terimi kullanılmaktadır. Son zamanlarda Türk Dil kurumunun yabancı sözcükleri Türkçeleştirme çalışmalarında Drone teriminin karşılığını uçangöz olarak verilmiştir.

İHA'lar genel olarak Tablo 1'de gösterildiği gibi beş başlık altında sınıflandırılabilir [31].

**Tablo 1.** İHA ların ağırlıklarına göre sınıflandırılması [31].

Ağırlıklarına Göre	Uçuş Yöntemine Göre	Kalkış Yöntemine Göre	İniş Yöntemi	Kullanım Amacına Göre
İHAO (0.5-4kg)	Sabit kanatlı	Rampadan fırlatılan	Gövde üzerine	Hobi
İHA1 (4-25kg)	Döner kanatlı	El ile fırlatılan	Dikey iniş	Ticari
İHA2 (25-15kg)			Paraşütle iniş	
İH (≥150kg)	A3			

#### 3.5.2. İHA'ların Kullanım Alanları

İHA farklı amaçlar doğrultusunda birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. İHA kullanım alanları genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Haritacılık (Haritalama, 3B modelleme, ortofoto vb. fotogrametrik ürünler, stok ve hacim ölçümler vs. [32].
- İstihbarat ve güvenlik amaçlı
- Tarım uygulamaları
- Sınır güvenliği
- Kentsel dönüşüm
- Fotoğrafçılık
- Madencilik
- Sağlık
- Afet yönetimi
- Arama kurtarma çalışmaları
- Nakliye (Kargo taşıma, yemek siparişi)
- Askeri amaçlı

#### 3.5.3. İHA ile Yapılan Fotogrametri Çalışmaları

İHA fotogrametrisinin temel taşı olan hareket tabanlı yapısal tespit (SFM), Computer Vision Association (Bilgisayar Vizyon Birliği) tarafından geliştirilen farklı açılardan alınan görüntü kesitlerinde nokta takibi ile ortaya çıkmıştır[33]. Harekete dayalı yapı algılama teknolojisi, insanın (ve diğer gözleri olan canlıların) gözün iç retina tabakasında oluşan 2 boyutlu hareketli görüntülerden çevredeki 3 boyutlu

ortamı algıladığı biyolojik görüntü algısı gibidir[34].Yer paylaşımı fotoğraflar, milyonlarca 3B yüzeyde nokta bulutlarını görüntülemek için otomatik ve hızlı bir şekilde işlenir [35].

Geleneksel hava fotogrametrisinde kullanılan uçaklardan farklı olarak İHA'lar, alçak irtifalarda nesnelere yakın uçuşa imkânı sunuyor. Ulaşımın mümkün olmadığı ve insanlı hava araçlarının bulunmadığı bazı durumlarda tercih edilen tek alternatif İHA'lar olmaktadır. Buna ek olarak küçük konvansiyonel hava fotogrametri uygulamalarında, veri hacmi gereksiz ve maliyetli olmasına rağmen dronların kullanımı önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlayabilir [36].

Elde edilen ürünlerden, klasik fotogrametri ve İHA fotogrametrisinin matematiksel ve istatistiksel yöntemlerinde bazı farklılıklar bulunmaktadır [30, 32]. Geleneksel fotogrametri, küresel tutarlılığa, model geçerliliğine, ölçüm doğruluğuna ve uyumluluğuna sahip çözümler sunarken, İHA fotogrametrisi, 3B nesne yeniden yapılandırması ve verimliliği ve yerel optimizasyon için tüm verilere dayalı yerel çözümlerle klasik fotogrametrinin dengeli modelini kullanır. Bu fark, İHA fotogrametrisi kullanılarak havadan ölçme, 3 boyutlu dijital modelleme ve ortofoto üretiminin önünü açmaktadır [42, 44].

İHA'lar ve entegre dijital kameralar yardımıyla fotogrametri verileri manuel, yarı otomatik veya tam otomatik olarak elde edilebilir. Bu veriler kullanılarak kontur çizgileri, dijital yükseklik modelleri, vektör verileri, ortofotolar ve 3B modeller üretilebilir. Özellikle son yıllarda bu araçlar harita yapımı alanında giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır [37].

İHA ile elde edilen veriler fotogrametri ile değerlendirilebilmekte ve değerlendirme verilerinden elde edilen SYM, nokta bulutu veya raster şeklinde oluşturularak çalışmanın özel ihtiyaçlarına göre kullanılabilir. Ayrıca hava fotoğraflarının düzeltilmesi ve topoğrafik farklılıklardan oluşan hataların giderilmesi ile elde edilen ortofotolar, çalışma alanının görüntülerini de içerdiğinden, yer etütlerinden elde edilen doğrusal haritalara göre daha fazla bilgi içermektedir. Ortofoto haritaların yanı sıra, fotogrametri yöntemleri kullanılarak sayısal arazi modellerinin üretilmesi, yüksek çözünürlüklü kontur haritaları, insan yapımı (tarlalar, yollar, binalar vb.) ve doğal özellikler (orman-orman yapıları, göller, nehirler vb.) üretilebilir. Belirli istifleme oranları ile üç boyutlu olarak alınan bu görüntülerin bilgisayar ortamında

değerlendirilmesi için yazılımsal fotogrametri veya dijital fotogrametri sistemi gerekmektedir [38].

Geleneksel fotogrametri teknikleri, geometrik modeller oluşturmak için kameraların ve yer kontrol noktalarının yüksek hassasiyetli 3B konum ve yönlendirme bilgilerini gerektirir. Hareket tabanlı yapı algılama yöntemlerinde model geometrisi, kamera konumu ve yönlendirme bilgileri eş zamanlı olarak otomatik olarak çözülür [39]. İHA fotogrametri yöntemi, hava fotogrametrisine benzeyen bir yöntemdir. İHA fotogrametri işlem adımları;

- Hava görüntülerinin alınması,
- Fotoğraf niteliklerini meydana getirme,
- Demet dengelemesi,
- Nokta bulutu,
- Rektifikasyon,
- Yüzey modeli,
- Görselleştirme olarak sıralanabilir

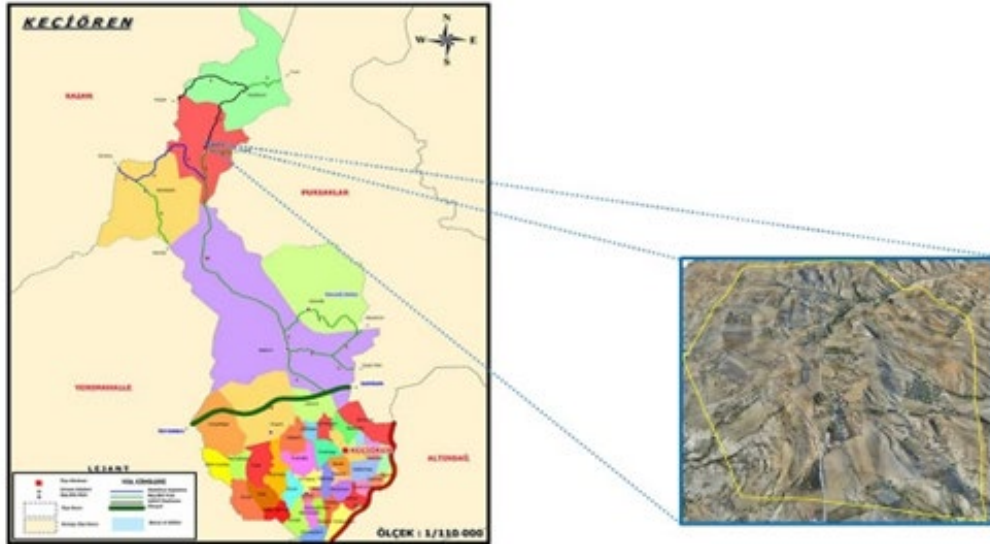
Fotogrametri saha etüdü tablosunda açıklandığı gibi hava fotogrametrisinde belirli işlem basamaklarının sırayla uygulanması gerekir. Hava fotogrametrisi disiplini en iyi şekilde bu işleme adımları aracılığıyla açıklanır. Öncelikle, üretilecek haritanın ölçeğine göre fotoğrafı çekilecek alan için bir uçuş planı hazırlanır. Bu uçuş planı, uçuş yollarının sayısı, uçuş yönü, görüntü kapsama alanı, maruz kalma süresi ve aralığı, uçuş doğrultusu ve konumu, rüzgâr yönü ve etkisi gözlemlenerek uçağın rotasını, hızını, kamerasını ve tipini belirler. Fotogrametri çalışmasının yüksek doğruluğunu sağlamak için, ölçümü yapılacak yer kontrol noktaları gökten görülebilecek şekilde modellenir ve işaretlenir. Belirlenen YKN'ler, yüksek hassasiyetli klasik jeodezik yöntemlerle ölçülmüştür. Havadan nirengi için kullanılan yer kontrol noktalarının saha dağılımı ve sıklığı havadan nirengiye göre seçilmelidir. Tüm bu işlemlerden geçen hava fotoğrafları işlenerek yeni uzamsal bilgiler üretilir ve istenen alanların son derece hassas ölçümleri sağlanır [40, 43].

#### 4. Materyal ve Metot

##### 4.1. Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi olarak Ankara İli, Keçiören İlçesine bağlı Çalseki Mahallesi Merkez yerleşkesine ait olan yaklaşık 470 ha'lık bir alan seçilmiştir. Alanın Koordinatları Şekil 1 de verilmiştir.





Şekil 1. Çalışma alanının genel gösterimi (40 08' 28'' K, 32 47' 48'' D).

## 4.2. Veri Temini

Ortofoto üretimi için sabit kanata sahip Sense FLY eBee Plus modeli kullanılmıştır. Kullanılan uçak Şekil 2'de gösterilmiştir. Teknik özellikleri Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Sense FLY eBee Plus.

Tablo 2. Sense FLY eBee Plus teknik özellikleri.

Kanat Açıklığı	110 cm
Kamera Sensör Boyutu	1 inch
Kamera Piksel Aralığı	2.33 $\mu$ m

Yer kontrol noktalarının koordinatlarının ölçümü için TOPCON GR5 GNSS alıcısı kullanılmıştır.

## 5. Uygulama

### 5.1. Arazi Çalışması 1. Uçuş

İlk arazi çalışması 2020 Eylül ayında gerçekleştirilmiştir. Çalışma için 21 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. Bunların 10 tanesi YKN olarak kullanılmış olup, kalan 11 tanesi check point olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda uçuşlar, sabit istasyon kurularak RTK'lı olarak gerçekleştirilmiştir. Ortalama 200 metre irtifadan, boyuna bindirme oranı %70, enine bindirme oranı %60 olacak şekilde uçuş yapılmıştır. 750 Adet görüntü kaydedilmiştir ve fotoğrafların toplam boyutu 7.07 GB olmuştur. Yapılan process işlemi sonucunda elde edilen ortalama hata miktarı

1.487 cm olarak kaydedilmiştir. Yer örneklem aralığı 5.87 cm/Pix olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen DEM verisine ilişkin çözünürlük 23.5 cm/pix olarak gerçekleştirilmiştir. Modele ilişkin genel karesel ortalama hatalar Tablo 3 te verilmiştir. Yer kontrol Noktalarının konum hassasiyetlerine ilişkin rapor ise Tablo 4 de verilmiştir. Check point noktalarının hata değerlerine ilişkin rapor ise Tablo 5'te verilmiştir. Kalibrasyon katsayıları ve Korelasyon matrisi ise Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 3. Modelin genel karesel ortalama hatası.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
0.636846	0.645151	1.66565	0.906528	1.89636

Tablo 4. Yer kontrol Noktalarının konum hassasiyetlerine ilişkin rapor şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
101	-0.056045	0.817509	0.406697	0.914803	1.028 (10)
102	-0.804671	0.620785	-0.0531462	1.01769	0.942 (7)
106	0.573733	-0.283313	-0.412836	0.761491	1.232 (7)
110	0.180673	-0.173105	0.00370077	0.250243	1.145 (3)
111	1.34809	0.484831	0.0289661	1.43291	1.190 (7)
114	0.0228808	0.795652	0.0455207	0.797282	0.906 (7)
119	0.201316	0.555151	0.193275	0.62135	0.909 (8)
121	0.125621	0.607556	-0.185083	0.647427	1.340 (7)
123	0.156453	0.103488	0.0485949	0.193776	0.875 (8)
125	0.0240447	-0.641573	-1.46839	1.60261	4.009 (5)
<b>Total</b>	<b>0.539599</b>	<b>0.559615</b>	<b>0.507122</b>	<b>0.928175</b>	<b>1.487</b>

**Tablo 5.** Check noktalarının hata değerleri.

Label	X error (cm)	Yerror (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
103	-3.3014	3.99133	-1.33575	5.34922	0.651 (6)
104	-5.85916	0.560208	-11.7645	13.1547	0.528 (6)
109	9.21897	0.451015	4.50503	10.2707	0.497 (4)
112	5.67849	2.42045	-4.15545	7.4412	0.685 (8)
113	-0.75297	14.0914	-13.0612	19.2283	0.617 (7)
115	-1.98187	-2.65679	-7.27432	7.99388	0.656 (7)
117	-5.71291	6.66419	2.08386	9.02171	0.704 (8)
118	4.06084	4.89636	2.23927	6.74382	0.811 (11)
120	-10.8379	11.1774	6.72685	16.9601	1.085 (6)
122	2.27202	5.14831	-3.56186	6.65988	0.669 (9)
124	2.81427	-0.810616	7.62717	8.17012	0.700 (6)
<b>Total</b>	<b>5.61353</b>	<b>6.38474</b>	<b>6.91986</b>	<b>10.9618</b>	<b>0.715</b>

**Tablo 6.** Kalibrasyon katsayıları ve korelasyon matrisi.

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4391.48	0.02'1	1.00	0.00	-0.35	-0.06	0.04	-0.52	0.46	-0.42	0.39	-0.01	-0.02
Cx	-82.9178	0.018		1.00	-0.01	-0.17	-0.07	-0.01	0.01	-0.02	0.03	0.94	-0.02
Cy	-54.4526	0.013			1.00	0.03	-0.12	0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.01	0.75
B1	1.89952	0.0046				1.00	0.02	0.03	-0.05	0.04	-0.04	-0.17	0.06
B2	0.824 719	0.0046					1.00	0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.08	-0.12
K1	0.0540285	6. 5e-05						1.00	-0.98	0.93	-0.89	-0.03	-0.01
K2	-0.36987	0.00045							1.00	0.99	0.96	0.03	0.01
K3	0.73 6165	0.0012								1.00	-0.99	-0.04	-0.01
K4	-0.403552	0.0011									1.00	0.04	0.01
P1	-0.00638325	1.60E-06										1.00	-0.01
P2	-0.00349295	1.10E-06											1.00

## 5.2. Arazi Çalışması 2. Uçuş

İkinci arazi çalışması 2022 Eylül ayında gerçekleştirilmiştir. Çalışma için 24 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. Aynı zamanda uçuşlar, sabit istasyon kurularak RTK'lı olarak gerçekleştirilmiştir. Ortalama 200 metre yükseklikten, boyuna bindirme oranı %70, enine bindirme oranı %60 olacak şekilde uçuş yapılmıştır. Yapılan process işlemi sonucunda elde edilen ortalama hata miktarı 1.238 cm olarak kaydedilmiştir. Yer örneklem aralığı 6.03 cm/Pix olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen DEM verisine ilişkin çözünürlük 24.1 cm/pix olarak gerçekleştirilmiştir. Modele ilişkin genel karesel ortalama hatalar Tablo 7 de verilmiştir. Yer kontrol Noktalarının konum hassasiyetlerine ilişkin rapor Tablo 8'deki gibidir. Check point noktalarının hata değerlerine ilişkin rapor ise şu şekildedir (Tablo 9). Kalibrasyon katsayıları ve Korelasyon matrisi ise Tablo 10'daki gibidir.

**Tablo 7.** Modelin karesel ortalama hatası.

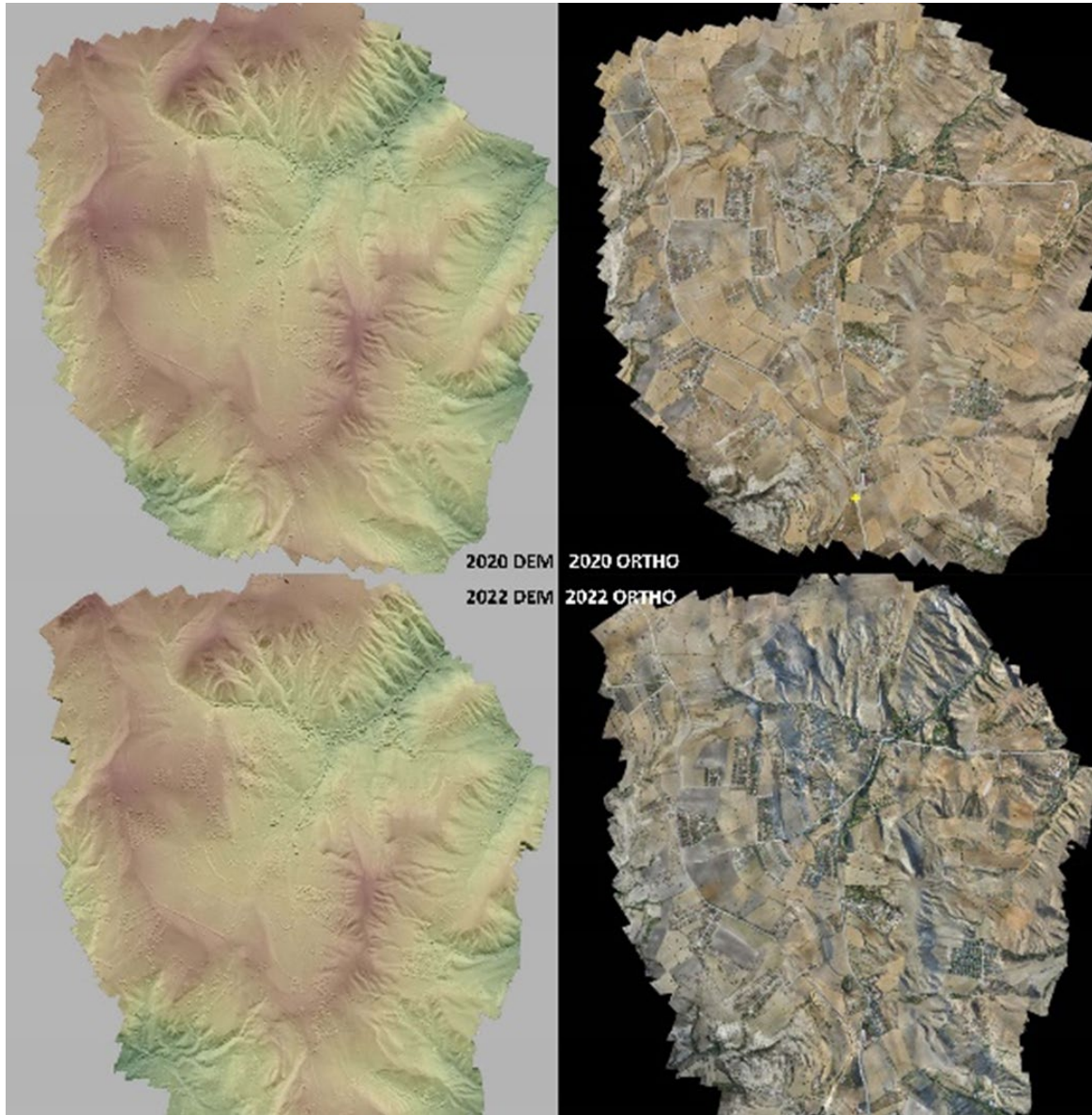
X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
0.723882	0.618635	1.69864	0.952215	1.95

**Tablo 8.** Yer Kontrol Noktalarının konum hassasiyetleri.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
202	0.340012	0.932719	-0.142376	1.00292	0.748 (14)
203	0.559403	0.0372513	0.153701	0.581329	1.085 (9)
204	0.026235	0.224162	-0.129593	0.260253	0.896 (12)
205	-0.01386	0.318484	-0.0790491	0.32844	1.015 (11)
207	-1.14046	2.47815	-0.364855	2.75227	2.107 (9)
210	-0.20643	-0.247902	-0.463536	0.564743	1.687 (10)
214	-0.50710	0.0755966	-0.137586	0.530849	0.958 (10)
218	1.18647	0.84608	0.373452	1.50434	1.348 (11)
222	-0.61835	0.779788	-0.26017	1.02865	1.391 (10)
224	0.200963	-0.908255	-0.461316	1.03833	0.981 (16)
<b>Total</b>	<b>0.621313</b>	<b>0.968519</b>	<b>0.292202</b>	<b>1.1872</b>	<b>1.238</b>

**Tablo 9.** Check point noktalarının hata değerleri.

Label	X error (cm)	Yerror (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
208	-0.707073	-4.82744	-9.87259	11.0124	0.535 (4)
209	-2.74938	2.44831	-13.1257	13.6323	0.529 (6)
211	0.500703	1.94353	0.709491	2.12871	1.457 (8)
212	-0.789902	-1.85718	0.633163	2.11517	1.488 (6)
213	10.2221	9.59531	-2.14205	14.1827	0.276 (4)
215	5.07198	7.43407	7.88261	11.9635	0.583 (4)
217	-5.89049	3.78632	9.84395	12.0805	0.530 (6)
216	-3.93348	-1.42574	-0.196165	4.18849	2.097 (6)
220	0.860562	0.026652	1.25328	1.52053	1.147 (8)
221	3.69942	-12.1131	-7.31398	14.6255	0.696 (7)
223	7.05847	-2.26278	-12.1421	14.2258	0.730 (8)
225	0.927941	-0.560312	0.721763	1.30229	0.715 (13)
226	0.293304	0.364078	-3.56621	3.59673	0.766 (5)
219	-5.29939	-3.10126	-12.3691	13.8093	1.059 (6)
<b>Total</b>	<b>4.49284</b>	<b>5.08598</b>	<b>7.5737</b>	<b>10.1693</b>	<b>1.034</b>



**Şekil 3.** SFM algoritması kullanılarak dijital yüzey verisi üretilmiştir. Bu yüzeye ait piksel boyutu ise sırası ile 5.87 cm ve 6.03 cm olarak gerçekleşmiştir.

**Tablo 10.** Kalibrasyon katsayıları ve Korelasyon matrisi.

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4392.94	0.022	1.00	-0.03	-0.23	-0.05	0.00	-0.65	0.58	-0.53	0.49	-0.01	-0.01
Cx	-80.5293	0.021		1.00	0.02	-0.17	-0.04	-0.01	0.01	-0.02	0.03	0.93	0.01
Cy	-54.8069	0.017			1.00	0.03	-0.13	-0.01	0.01	-0.02	0.02	0.01	0.82
B1	1.85004	0.0045				1.00	0.01	0.04	-0.05	0.05	-0.04	-0.17	0.09
B2	0.982027	0.0048					1.00	0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.06	0.14
K1	0.0461779	7.3E-05						1.00	-0.98	0.93	-0.88	-0.02	-0.01
K2	-0.323793	0.00051							1.00	-0.99	0.96	0.03	0.01
K3	0.628538	0.0014								1.00	0.99	-0.03	-0.01
K4	-0.314339	0.0013									1.00	0.03	0.01
P1	-0.0063039	1.8e-06										1.00	0.01
P2	-0.00348526	1.5e-06											1.00

### 5.3. Ortofoto/DEM Üretimi ve DEM Verilerinin Karşılaştırılması

Elde edilen görüntülerin değerlendirilirken Agisoft Metashape Professional yazılımı kullanılmıştır. İşlenen görüntülerden elde edilen ortofotoların en küçük piksel boyutu sırası ile 5.87 cm/pix ve 6.03 cm/pix olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3). Ortalama hata miktarları yine sırası ile 1.487 cm ve 1.238 cm olarak gerçekleşmiştir. Bu çalışmanın asıl konusu olan kaçak yapı tespiti; farklı zamanlarda yapılan uçuşlardan elde

edilen verilerden üretilen DEM verilerinin karşılaştırılması üzerine kurulmuştur. Bu işlem Virtual Surveyor yazılımında gerçekleştirilmiştir. Birinci uçuş sonrası üretilen DEM verisi referans yüzey olarak belirlenmiştir. İkinci uçuş sonrası üretilen DEM verisi referans yüzeye göre nispet edilmiş ve referans yüzeyde 2 metreden fazla olan değişiklikleri analiz etmesi istenmiştir. Yazılım bunu ekranda kırmızıya boyanmış olarak işaretlemektedir (Şekil 4).



**Şekil 4.** İkinci bölümde alanı manuel olarak taramak sureti ile yazılımın boyadığı alanlar işaretlenip point verisi olarak export edilmiştir. Akabinde işaretli bölgelerde yapı ruhsatı ya da ruhsat başvurusu olup olmadığı araştırılmıştır.

## 6. Sonuçlar

İnsansız hava araçlarına (İHA) entegre edilen fotoğraf makineleri vasıtası ile yer yüzeyinin görüntülenerek haritalanması klasik tekniklerin birçok anlamda önüne geçmiştir. Zamandan, emekten tasarruf edilmekle birlikte çoğu zaman ekonomik açıdan da daha avantajlı hale gelmesi insansız hava araçlarının hemen her alanda kullanımının yaygınlaştırmıştır.

Bu alanlardan birisi de kaçak yapı tespittir. Kaçak yapı tespiti için çok sayıda personel, araç ve ekipman tahsisi gerekirken İHA kullanılırken bunların neredeyse tamamından tasarruf sağlanmış olmaktadır. Bu çalışmada Keçiören Bölgesinde bulunan Çalseki Mahallesi'nin merkez yerleşkesi seçilerek kaçak yapı araştırması yapılmıştır. Önce 2020 yılı Eylül ayında ilk görüntüler alınarak process edilmiştir. Akabinde 2022 yılı Eylül ayında aynı alanda uçuş yapılarak bu iki veri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 164 adet yapı tespit edilmiştir. Bunlardan 1'i ruhsatlı olup 163 adet ruhsatsız yapı tespit edilmiştir. Arazide yapılan saha çalışması sonucu bu yöntem, tüm kaçak yapıları tespit edebilmiştir. Bu çalışma vasıtası ile İHA'lar kullanılarak kaçak yapı tespiti sağlanmasının mümkün olduğu görülmüştür.

## Bilgilendirme

Bu çalışma Ahmet Ulukök'ün tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2022-2-TP2-4776 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

**Ahmet Ulukök:** Literatür taraması, Saha çalışması, analiz ve yorumlama, makale yazma.

**Ali Ulvi:** Kontrol, düzenleme, görselleştirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

[1] Baltasvias, E. P. (2004). Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58, 129-151.

- [2] Gruen, A., & Kuebler, O. (1995). Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images. Agouris, P. (Eds.), Birkhäuser, Basel.
- [3] Kaartinen, H., Hyyppä, J., Gülch, E., Vosselman, G., Hyyppä, H., Matikainen, L., & Dragoja, M. (2005). Accuracy of 3D city models: EuroSDR comparison. *In ISPRS Symposium*, Netherlands, 12 September, 227-232
- [4] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., & Zingaretti, P. (2010). Performance evaluation of automated approaches to building detection in multisource aerial data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 110 65, 123-133.
- [5] Mayer, H. (1999). Automatic object extraction from aerial imagery - a survey focusing on buildings. *Computer Vision and Image Understanding*, 74, 138-149.
- [6] Mumbone, M., Bennett, R., Gerke, M., & Volkmann, W. (2015). Innovations in boundary mapping: Namibia, customary lands and UAVs. *In 2015 world bank conference on land and poverty*. Washington: 25 July.
- [7] Volkmann, W., & Barnes, G. (2014). Virtual surveying: mapping and modeling cadastral boundaries using unmanned aerial systems (UAS). *In FIG Congress*, Kuala Lumpur, 21 June, 1-8
- [8] Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., & Eisenbeiss, H. (2012). Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. *In ISPRS Symposium*, Zurich, 16 September, 57-62.
- [9] Fan, X., Nie, G., Gao, N., Deng, Y., An, J., & Li, H. (2017). Building extraction from UAV remote sensing data based on photogrammetry method. *In International 107 Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Texas, 13 July, 3317-3320.
- [10] Comert, R., Avdan, U., & Avcı, Z. D. (2016). İnsansız hava aracı verilerinden nesne tabanlı bina çıkarımı. 6. *UZAL-CBS Sempozyumu*, Adana, 7 Ekim, 339-347.
- [11] Harrington, J. (2019). In Hurricane Barry's wake, here are the worst floods in American history. <https://www.usatoday.com/story/news/weather/2019/07/17/worst-floods-in-american-history/39692839/>, [Erşim Tarihi: 02.05.2023]
- [12] Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- [13] Ulvi, A., Varol, F., & Yiğit, A. Y. (2019). 3D modeling of cultural heritage: the example of Muiy Mubarek Mosque in Uzbekistan (Hz. Osman's Mushafi). *International Congress on Cultural Heritage and Tourism (ICCHT)*, Bishkek, Kyrgyzstan, 115-123.
- [14] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage. *The Example of*

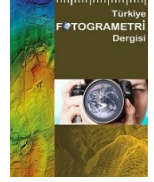
- Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- [15] Yakar, M. (2018). GIS and Three Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, 50-56.
- [16] Yakar, M., Karabacak, A., & Fidan, Ş. (2019). Arazi Ölçmeleri 1. Atlas Akademi, 1, ISBN: 9786057839398, 188s.
- [17] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2019). İnsansız hava araçları ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu (TUFUAB)*, Aksaray, Türkiye, 315-318.
- [18] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & 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
- [19] Yakar, M. (2018). GIS and Three Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, 50-56.
- [20] Yastıklı, N. (2016). Yersel Fotogrametri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye
- [21] Marangoz, M. A. (2015). Yersel Fotogrametri Ders Notları, Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği bölümü, Zonguldak, Türkiye
- [22] Kraus, K. 2007. Photogrammetry, Geometry from images and laser scans. Berlin/New York: De Gruyter.
- [23] Petrovič, D., Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Urbančič, T., & Kozmus Trajkovski, K. (2019) Geodetic Methods for Documenting and Modelling Cultural Heritage Objects, *International Journal Of Architectural Heritage*, 15(6), 885-896
- [24] Jiang, J., Ming, Y., Zhang, Z., & Zhang, J. (2005). Point-based 3D Surface Representation from LiDAR Point Clouds. *The 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS*. September 6-8, 2005, Wales, UK, 1-4.
- [25] Liadsky, J. (2007). Recent advancements in commercial LiDAR mapping and imaging systems. Informally published manuscript, Optech Incorporate, Available from NPS LiDAR Workshop. Retrieved from <http://www.nps.edu/academics/Centers/RemoteSensing/Presentations/LiDAR/Presentations/RecentAdvancements.pdf>.
- [26] Petzold, B., Reiss, P., & Stossel, W. (1999). Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 95-104.
- [27] Polat N., & Uysal, M. (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2016) 035506, 679-692.
- [28] Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 5(4), 511-535, 2017, DOI: 10.15317/Scitech.2017.109
- [29] Torun, A. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla. *AKÜ FEMÜBİD*.
- [30] Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız Hava Aracı ile Elde edilen Verilerden Binaların Tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 08-14.
- [31] Kaya, Y., Şenol, H.İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M., & Polat, N. (2019). Hacim Hesaplarında İHA Kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2019; 1(1); 07-10
- [32] Kabadayı, A., & Uysal, M. (2020). Çok yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 43-48.
- [33] Özcan, O. (2017). İnsansız hava aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-7.
- [34] Lowe D. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60, 91-110.
- [35] Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S., & Uluğ, R. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortofoto Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2(3), 135-142
- [36] Jakovljevic, G., Govedarica, M., Alvarez-Taboada, F., & Pajic, V. (2019). Accuracy assessment of deep learning based classification of LiDAR and UAV points clouds for DTM creation and flood risk mapping. *Geosciences*, 9(7), 323.
- [37] Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Abdullah, A. K. A. Y., Gülci, S., & Öztürk, T. (2016). İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1), 104-118.
- [38] Atak, H. (2018). İnsansız hava araçları kullanarak ortofoto harita üretimi ve doğruluk analizleri. Doktora Tezi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Türkiye.
- [39] Avşar E. (2006). Tarihi köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi,
- [40] Ay, B., & Namlı, E. (2017). Görüntü İşleme Tabanlı İHA ve Uydu Sistemleri Hibrit Yapay Zeka Modeliyle Kaçak Yapıların Tespiti. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 3(2), 114-129.
- [41] URL-1: <https://www.imarvehukuk.com/yapi-nedir> [Erişim tarihi: 02.05.2023]

- [42] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- [43] Shervais K. and Dietrich J. (2016). Structure From Motion (SFM). *Photogrammetry Data Exploration and Processing Manual*, 1-28.
- [44] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Kadastroda Binaların Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 65-71.



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Küçük Ölçekli Tarihi Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3B Modellenmesi ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi

Mustafa Emre Döş<sup>1\*</sup>, Abdurahman Yasin Yiğit<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölüm, 31060, Hatay, Türkiye; (mustafaemre.dos@mku.edu.tr)

<sup>2</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (abdurahmanyasinyigit@gmail.com)



\*Sorumlu Yazar:  
mustafaemre.dos@mku.edu.tr

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Döş, M. E., & Yiğit, A. Y. (2023). Küçük Ölçekli Tarihi Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3B Modellenmesi ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 20-28.

Geliş : 07.05.2023  
Revize : 12.06.2023  
Kabul : 14.06.2023  
Yayınlama : 30.06.2023

### Özet

Anadolu çok eski çağlardan beri birçok kültüre ve topluma ev sahipliği yapmıştır. Bu durum kültür zenginliği açısından zenginlik sağlamış ve kültürler arası etkileşimler sonucunda kültürel miras eserlerin bu coğrafyada fazla olmasına katkı sağlamıştır. Bu kültürlerin incelenip anlaşılması ve gelecek nesillere aktarılması için korunmaları gerekmektedir. Ancak kültürel miraslar doğal veya yapay birçok sebepten dolayı yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte bütün bu tehlikelerin önüne geçilebilmesi ve bunların gelecek nesillere aktarılabilmesi için kültürel mirasların belgelenmesi sorunu fotogrametrik yöntemler klasik yöntemlerle hibrit kullanılır hale gelmiştir. Literatürde fotogrametrik yöntemler klasik yöntemlere göre zaman, maliyet, doğruluk vb. kriterler açısından avantajlarını kanıtlamışlardır. Son zamanlarda fotogrametrik yöntemlerle modellenerek belgelenmesinin yanında WEB tabanlı görselleştirme sayesinde kültürel mirasların uluslararası tanıtımı söz konusu olmuştur. Bu çalışmada nispeten diğer eserler göre daha az çalışılan küçük ölçekli eserler ele alınarak kültürel eserlerin belgelenmenin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca kültürel mirasların belgelenmesinin yanında WEB tabanlı görselleştirmeyle e-müze gibi sanal ortamlara envanter oluşturularak uluslararası düzeyde tanıtımına katkı sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotogrametri, SfM, tarihi eser, 3B modelleme, WEB tabanlı görselleştirme.

## 3D Modeling and Web Based Visualization of Small-Scale Historical Artifacts with Photogrammetry Method

\*Corresponding Author:  
mustafaemre.dos@mku.edu.tr

### Research Article

**Citation:** Döş, M. E., & Yiğit, A. Y. (2023). 3D Modeling and Web Based Visualization of Small-Scale Historical Artifacts with Photogrammetry Method. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(1), 20-28 (in Turkish).

Received : 07.05.2023  
Revised : 12.06.2023  
Accepted : 14.06.2023  
Published : 30.06.2023

### Abstract

Anatolia has been home to many cultures and societies since ancient times. This situation has provided richness in terms of cultural richness and contributed to the high number of cultural heritage artifacts in this geography as a result of interactions between cultures. These cultures need to be protected in order to be examined and understood and passed on to future generations. However, cultural heritage is in danger of extinction due to many natural or artificial reasons. Nowadays, with the developing technology, photogrammetric methods have become hybrid with classical methods for the problem of documenting cultural heritage in order to prevent all these dangers and to transfer them to future generations. In the literature, photogrammetric methods have proven their advantages in terms of time, cost, accuracy, etc. compared to classical methods. Recently, in addition to the documentation of cultural heritage by modeling with photogrammetric methods, there has been international promotion through WEB-based visualization. In this study, the importance of documenting cultural artifacts is emphasized by considering small-scale artifacts that are relatively less studied than other artifacts. In addition to the documentation of cultural heritage, WEB-based visualization has contributed to the international promotion of cultural heritage by creating an inventory for virtual environments such as e-museums.

**Keywords:** Photogrammetry, SfM, historical artifacts, 3D modelling, WEB-based visualization.



## 1. Giriş

Kültürel miras ve sanat eserleri toplumların hafızalarıdır ve gelecek nesillerin geçmişi öğrenmelerini sağlamaktadırlar. Kültürel miraslar genellikle; tarihsel, kültürel ve sanatsal önemi nedeniyle bir yerin ve nüfusunun zenginliğini oluşturan tarihi binalar, modern yapılar, köprüler vb. gibi anıtlarla ilgili varlıklar kümesi olarak tanımlanır [1]. Kültürel miras alanları hem kültür turizmi açısından hem de bu alanlarda devam eden bilimsel çalışmalar açısından büyük öneme sahiptir. Kültürel miraslar somut, soyut ve doğal miraslar olarak üç başlık altında incelenebilir [2]. Toplumların kültürel mirası bir tamamlayıcı unsur olarak görmeleri ve kültürel mirasın toplumların geçmişine ayna tutmaları bakımından korunması, bakımı ve gelecek nesillere aktarımı önemlidir. Kültür ve miras varlıkları ekonomik, sosyo-kültürel ve uluslararası etkileşim bakımından önem arz etmektedir [3,4].

Kültürel miraslar ve sanat eserleri, doğal veya beşerî etkenler nedeniyle zamanla zarar görme veya yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır [5,6]. Geçmişten günümüze gelen tarihi yapıların bir kısmı deprem vb. doğal afetlerde zarar görmüş, bazıları yıkılmış bazıları ise günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır [7]. Kültürel mirasın kaybedilmesi veya tahrip edilmesi, insanlık için büyük bir kayıp olabilmekte ve tarihin bütün bilgilerini içinde barındıran bilgilerin gelecek nesillere aktarılması yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, kültürel mirasın belgelenmesi, korunması ve bu değerlerin kayıt altına alınması gelecek nesillere aktarılması için büyük önem taşımaktadır. Diğer yandan, kültürel mirasın belgelenmesi, bu değerlerin korunmasını da sağlamakta olup önemli bir altlık oluşturmaktadır. Kültürel mirasın belgelenmesi, günümüzde birçok farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlar arasında arkeolojik kazılar, etnografik çalışmalar, tarihi belgelerin araştırılması, fotoğraf ve video kayıtları gibi yöntemler yer almaktadır. Bunlar, kültürel mirasın farklı yönlerini belgeleyerek korunmasını sağlamaktadır. Tarihi yapıların belgelenmesi konusunda birçok yöntem sunulmuş ve bunlardan birisi de fotogrametrik yaklaşımlardır. Fotogrametri, sayısal kameralarla çekilmiş iki boyutlu (2B) fotoğraflardan üç boyutlu (3B) model üretimine olanak sağladığı için sık kullanılan tekniklerin başında gelmektedir. Öte yandan fotogrametri yöntemiyle incelenen eserlere ilişkin 3B model ve belgeleme işlemleri risksiz ve düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir [8,9]. Bu avantajların yanında arkeolojik kalıntılara ait detay noktalarının önemli olmasından dolayı fotogrametri tekniği yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hedef objeye ait bindirmeli fotoğraflar fotogrametri teknikleriyle

eşleştirilerek nokta bulutu, katı model ve üç boyutlu model gibi ölçekli ve koordinatlı sonuç ürünler elde edilebilmektedir [10].

Literatür bakıldığı zaman kültürel mirasların belgelenmesi konusuna ilişkin çalışmalarda Hamal vd. (2020) Pompeiopolis (Mersin) kültürel mirasının belgelenmesi için yersel lazer tarama, İHA ve yersel fotogrametriyi bir arada kullanmışlardır ve birleştirilmiş verilerden elde edilen üç boyutlu modelde karesel ortalama hata  $\pm 0,97$  cm bulunmuştur [11]. Döş vd. (2021) akıllı telefonların metrik olmayan kameraları ile alınan görüntüler üzerinden, fotogrametrik bir çalışma ile tarihi eserleri belgelemişlerdir. Fotogrametri ile üç boyutlu modelleme yapabilmek için planlı jeodezik ölçüm ve fotoğraflama yapılması gerektiğinde bahsetmişlerdir. Özellikle koordinatlı ve ölçekli bir belgeleme için jeodezik ölçümlerin olması gerektiğinin altını çizmişlerdir. Ayrıca jeodezik ölçümlerin yapılamadığı durumlarda ölçek çubukları ile modellerin ölçeklenebileceğinden bahsetmişlerdir. Çalışma sırasında tarihi eser üzerinde jeodezik yöntemlerle kontrol noktaları ölçülmüş ve bir kısmı doğruluk analizi için ayrılmıştır. Çalışma sonunda 1.94 cm doğrulukla 3B tam bir belgeleme yapmışlardır [12]. Örnek çalışmalara bakıldığında fotogrametrinin ölçekli ve hassas bir belgeleme tekniği olduğu görülmektedir. Ayrıca gelişen teknolojiyle birlikte cep telefonu kameralarıyla elde edilen görüntülerle fotogrametrik olarak yüksek doğruluklu modeller sayesinde kültürel mirasların belgelenebildiği de görülmektedir [13,14]. Ayrıca yersel anlamda veri eksikliği yaşanıldığında insansız Hava Araçları (İHA) ile ulaşılması zor olan tarihi yapıların belgelenmesinde büyük yol kat edilmiştir. Kaya vd. (2021) yaptıkları çalışmayla hem yersel hem de İHA fotogrametrisiyle arkeolojik bir alanı yüksek doğrulukla belgelemeyi başarmıştır [15]. Literatür incelendiğinde genel olarak büyük tarihi yapıların belgelendiği [16], ancak küçük objelerin göz ardı edildiği görülmüştür [17-20].

Kültürel miras yönetimi; veri toplama, kaydetme ve görselleştirmeden bilgi yönetimi, teknoloji alışverişi ve iletişime kadar bir dizi metodolojiyi içerir. Fotogrametri, eksiksizlik, kesinlik, tekdüze doğruluk, doku ve üç boyutlu veriler sağlarken, etkileşimli bir 3B sanal tur, kültürel miras anıtlarının eksiksiz bir kaplamasını sürükleyici bir "canlı" görünümde sunmak için kullanılır. Bu çalışma literatürde eksikliği görülen ölçek olarak nispeten küçük boyutlu tarihi sanat eserlerin belgelenmesi üzerine yürütülmüştür. Bilindiği üzere pandemi sonrası e-müzecilik gibi sanal ortamların önemi artmış ve envanterde bulunan kültürel mirasların belgelenmesi konusu gündeme gelmiştir. Çalışmamızda farklı boyutlardaki objeler seçilmiş ve üretilen modeller dijital ortamda WEB tabanlı sunulmuştur.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Kullanılan Donanımlar, Teknik Özellikler ve Yazılım

Çalışmada fotoğraf çekimi için orta sınıf kamera sistemine sahip bir akıllı telefon (teknik özellikleri, kalitesi ve fiyatı makul olan telefonlar) tercih edilmiştir. Kullanılan telefon Samsung marka A52 modeldir. Bu model, kamera özellikleri (görüntü çözünürlüğü, keskinlik, renk doğruluğu) ve profesyonel bir SLR fotoğraf makinesine çok yakın yetenekleri nedeniyle seçildi. Mobil cihaz, 64 MP birincil modül ve 12 MP ultra geniş dahil olmak üzere dörtlü bir arka kameraya sahiptir. Birincil kamera (geniş açılı) 64 MP, 81° görüş alanı, f/1,8 diyaframlı lens sahip iken ikinci kamera olan Ultra geniş kamera ise, 12 MP, 123° görüş alanı, f/2,2 diyaframlı lense sahiptir. Geniş açılı kamera 0.8 µm piksel boyutuna ve ikinci kamera 1,12 µm aralığa sahiptir. Telefonun güncel fiyatı 2023 Mayıs için, ~295\$'dır [21].

Çalışmada 3B fotogrametrik model üretimi için Agisoft Metashape [22] yazılımı tercih edilmiştir. Agisoft Metashape, son yıllarda birçok disiplin tarafından farklı amaçlar için fotogrametri yöntemiyle 3B model ve harita üretiminde en çok tercih edilen yazılımların başında gelmektedir [22-27].

Metashape, fotogrametrik işlemi yapmak için yüksek kaliteli ve yüksek çözünürlüklü fotoğrafları kullanarak, nesnelerin 3B modellerini oluşturur. Bu işlem, çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır, özellikle haritalama, arkeoloji, arazi planlama, film ve oyun endüstrilerinde sıkça kullanılır. Bu yazılım, fotoğraf çekimi ile 3B model oluşturma sürecini hızlandıran SfM algoritmasını kullanmaktadır. Metashape, özellikle arazi, bina, arkeoloji, madencilik, tarım, film ve oyun endüstrileri için oldukça uygun ve popüler bir yazılımdır. Metashape ile, büyük arazi parçalarını, binaları ve diğer yapıların 3B modeli; ayrıca, yüzey özellikleri, renk bilgisi ve dokuları yakalamak için yüksek çözünürlüklü fotoğraflar kullanarak hassas 3B modeller oluşturabilir [28-30].

Metashape, aynı zamanda çeşitli coğrafi koordinat sistemlerini destekler ve harita oluşturma ve topografik çalışmalar için de kullanılabilir [31-33]. Otomatik ölçüm, hacim hesaplama ve nokta bulutu işleme özellikleri de içermektedir. Bununla birlikte, Metashape, bir miktar teknik bilgi ve deneyim gerektirir. Fotoğraf çekimi, modelleme ve veri işleme süreçleri oldukça karmaşıktır ve başarılı sonuçlar elde etmek için özenli bir yaklaşım gerektirir. Metashape, fotoğrafları tek tek analiz ederek, fotoğraflardaki nesnelerin konumlarını ve şekillerini belirler. Bu işlem, nesnelerin fotoğraflarının yüksek çözünürlüklü versiyonlarını kullanarak, ayrıntılı bir nokta bulutu oluşturarak gerçekleştirilir [34-36]. Bu bilgi daha sonra

bir algoritma kullanılarak bir nokta bulutu oluşturmak için birleştirilir. Nokta bulutu daha sonra bir mesh (ağ) olarak adlandırılan bağlı üçgenlerden oluşan bir 3B yüzey haline getirilir. Bu yüzey, sonrasında bir dizi işlemden geçerek nesnenin renkleri, dokuları ve diğer özellikleri ile tam bir 3B model olarak oluşturulur [37,38].

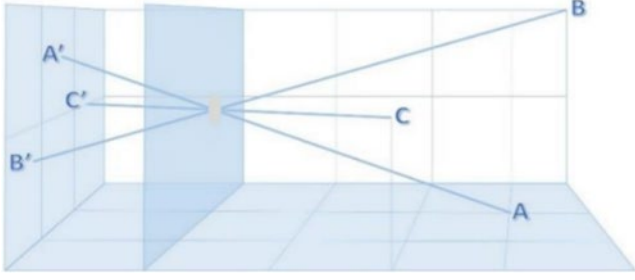
Agisoft Metashape, fotoğrafların işlenmesi, modelleme ve ölçüm süreçlerinde bir dizi özellik sunar. Bu özellikler, ölçümler için hassas nokta bulutu oluşturma, ayrıntılı modelleme yapma, coğrafi koordinat sistemlerini destekleme ve yüksek çözünürlüklü dokuların modelleme sürecine dahil edilmesi gibi özellikleri içerir. Sonuç olarak, Agisoft Metashape, fotogrametri yoluyla 3B modelleme işlemleri için yüksek kaliteli ve kullanışlı bir yazılım olarak sıklıkla tercih edilmektedir.

### 2.2. Fotogrametri ve SfM Algoritma Yapısı

Çalışmada fotogrametri yöntemi kullanılmıştır. On dokuzuncu yüzyılın ortalarında itibaren fotogrametrik analiz kullanarak ilk ölçümler yapılmıştır. Fotogrametri terimi, geometrik belgelendirme için fotoğraf görüntüleri kullanma fikrine sahip olan mimar Albrecht Meydenbauer tarafından tanıtıldı. O zamandan beri fotogrametri, kültürel miras belgelerinin anıtlarında eksiksizlik, kesinlik, tekdüze doğruluk, doku ve üç boyutlu veriler sağlamıştır. Dijital fotogrametri ve metrik olmayan kameraların kullanımı yaygın olarak kullanılırken, yeni fotogrametrik teknikler geliştirildi ve geliştirilmeye devam etmektedir. Başka bir deyişle haritalama tekniği olarak kullanılan fotogrametri ile, stereo görme prensipleri kullanılarak 2B görüntüler 3B koordinatlara çevrilebilmektedir [39].

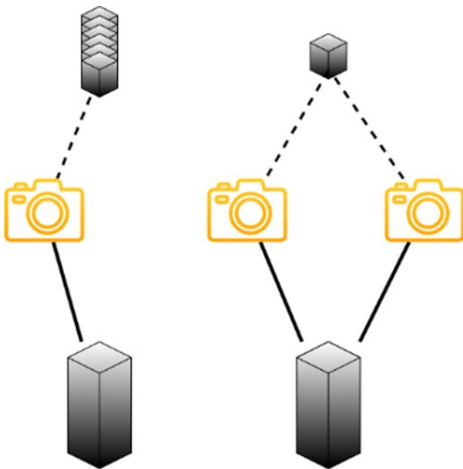
Fotogrametrinin matematiksel temellerine göre metrik bir kamerayla elde edilen görüntüdeki bir noktanın nesne uzayındaki birçok ışık ışınının yakınsamasını temsil eder.

Nesne uzayındaki bir noktanın; bulunduğu konum, kamera izdüşümü merkezi ve görüntü üzerindeki konumuyla aralarında düz bir çizgi olduğu düşünülmelidir. Bundan dolayı, sonrasında 2 boyutlu görüntünün 3 boyutlu 'gerçek dünya' çevirisi yapmak için dönüşümler uygulanmalıdır. Bu dönüşümler eş doğrusallık denklemleri olarak bilinir ve Şekil 1'de gösterildiği gibi metrik bir kameraya yani bozulmaların olmadığı ve sensörün düzlemselliğinin varsayıldığı bir kameraya dayanmaktadır.



Şekil 1. Herhangi bir nesne noktası için ana ışın ilkesi [40].

Ancak fotogrametride tek görüntüden değerlendirme işlemi bazı özel koşullar dışında bir noktanın nesne uzayındaki birçok ışık ışınının yakınsamasını temsil etmesinden dolayı mümkün olmamaktadır. Bu yüzden objelerden bindirmeli görüntüler alınıp bunların uygun yazılımlarla çakıştırılması gerekmektedir. Günümüzde, fotogrametrik yazılım uygulamalarının çoğu Hareket tabanlı yapısal algılama (Structure from Motion/SfM) ortak yaklaşımından yararlanmaktadır [41-43]. SfM, bir sahnenin 3B yapısının birkaç farklı konumdaki 2 boyutlu görüntüden tahmin etme işlemidir. SfM; 3 boyutlu tarama, artırılmış gerçeklik, görsel eşzamanlı yerelleştirme ve haritalama gibi birçok uygulamada kullanılır. Üç boyutlu bir rekonstrüksiyon oluşturmak için, bir alanın veya bir nesnenin büyük oranda örtüşen yaklaşık %60-70 gibi, farklı açılardan çekilmiş birçok görüntüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu algoritma sayesinde kameranın metrik olma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Bu sayede günlük kullanılan dijital kameralar veya mobil telefon/tablet gibi cihazlardan çekilen fotoğraflar SfM yöntemleri sayesinde fotogrametrik çalışmalarda kullanılabilir [44]. SfM algoritması için metrik olmayan kameralardan fotoğraf çekimi için temsil Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. SfM tabanlı görüntü yakalama tekniği.

### 2.3. WEB Tabanlı Görselleştirme

Son teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde WEB tabanlı görselleştirme daha yaygın hale gelmiştir. Bu yeni görselleştirmenin en büyük avantajı, herhangi bir ikincil yazılıma gereksinim olmaksızın internetin olduğu her yerden erişilebilir olmasıdır [45]. Örneğin Virtual globe (sanal küre) kullanıcıların dünyayı 3B olarak görselleştirmelerine ve gezinmelerine olanak tanır [46]. Bu çalışmada da ele alınan görselleştirme araçları sayesinde yüksek boyutlu modellerin indirilmesi ve saklanması gibi maliyet ve zaman açısından kolaylıklar sağlanmıştır [47].

Bu çalışmada kültürel miraslardan elde edilen modeller WEB tabanlı görselleştirme programı olan Sketchfab arayüzüne yüklenmiştir. Sketchfab sayesinde modeller WEB ortamında incelenebilmektedir. WEB tabanlı görselleştirmeler ile e-müze gibi sanal ortamların artırılmasında görselleştirme programları büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Birçok kullanıcı tarafından modellerin yüklenebilmesi sayesinde envanter çeşitliliğini artırılmaktadır.

Sketchfab, 3B modelleme topluluğu ve platformudur. Bu platform, kullanıcıların çeşitli 3B modelleri yüklemelerine, paylaşımlarına ve görüntülemelerine olanak tanır [48]. Sketchfab, kullanıcıların modellerini sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve diğer interaktif deneyimlerde kullanabilecekleri bir dizi seçenek sunar. Sketchfab, 2012 yılında kuruldu ve o zamandan beri dünya genelinde 3 milyondan fazla kullanıcı tarafından kullanıldı [48]. Platform, kullanıcılara kendi 3B modellerini yükleyerek, oluşturdukları portföyleri görüntüleyerek ve toplulukla etkileşimde bulunarak bir sanatçı veya tasarımcı olarak kendilerini tanıtmalarını sağlar. Sketchfab, kullanıcıların 3D modellerini farklı formatlarda yüklemelerine izin vermektedir. Bu formatlar arasında OBJ, FBX, BLEND, GLTF ve STL gibi popüler 3B dosya biçimleri yer almaktadır. Yüklenen modeller, Sketchfab'ın gömülü 3B görüntüleyicisinde görüntülenebilir. Bu görüntüleyici, kullanıcılara modelleri 360 derece döndürme, yakınlaştırma ve uzaklaştırma gibi özelliklerle incelemelerine olanak tanır. Sketchfab, ayrıca kullanıcıların modellerini özel koleksiyonlarda gruplamalarına, modelleri paylaşımlarına ve diğer kullanıcılarla etkileşime geçmelerine izin veren bir topluluk özelliği de sunar. Kullanıcılar, diğer kullanıcıların modellerini beğenebilir, yorum yapabilir ve takip edebilir.

### 3. Uygulama ve Bulgular

Nispeten küçük ölçekli tarihi sanat eserlerin 3 boyutlu modeli fotogrametri yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuştur. Doku çözünürlüğü ve yer örnekleme aralığı (YÖA) arasındaki ilişki açısından oldukça doğru 3B yeniden yapılandırma sonuçları elde etmek için, fotoğraf çekim konumu ile eser arasındaki ölçüm planının tasarlanması gereklidir. YÖA, bir nesne ölçeğinde ifade edilen görüntü pikselinin boyutudur. Bir nesne ölçeği dikkate alınarak, 3B rekonstrüksiyonun uygun bir detay seviyesi YÖA tarafından tanımlanabilir. YÖA, modelin tutması gereken en küçük ayrıntılardan daha küçük olmalıdır. Özellikle SfM tekniği ile fotogrametrik çalışmalarda kültürel mirasın belgelenmesinde farklı çıktı ölçekleri için "Historic England" [49] çalışmalarına bakınız.

Veri toplama için ölçme planı tasarlamak, tercih edilen kamera konumlarını belirlemek için saha koşullarının ve kısıtlamalarının ön keşfi gereklidir. Uygun bir YÖA değeri belirlenerek, çekim mesafesi (kameradan nesneye olan mesafe), taban çizgisi (iki kamera konumu arasındaki mesafe) ve geometrik kamera parametreleri (odak uzaklığı), bir nesnenin bulunduğu yer koşullarına ve kamera sensörüne göre hesaplanabilir. YÖA için nesne ile kamera merkezi arasında mesafe oldukça sabit tutulmaya çalışıldı. Görüntü kalitesinde tüm ayarlar (diyafram, deklanşör hızı ve ISO, pozlama parametreleri vb.) otomatik olarak ayarlandı. Ölçüm sırasında titremeleri azaltmak için telefon bir tripodla bağlandı. Mobil telefonun ana kamerası fotoğraf çekiminde kullanıldı. Ayrıca modeli ölçeklendirmek için homojen bir şekilde model etrafına referans hedef işaretleri yerleştirildi.

Fotoğraf çekme işlemiyle elde edilen veriler, genellikle JPEG, TIFF veya RAW formatında çıktı alınan, gözlemlenen bir nesnenin görüntüleridir. Hem JPEG hem de RAW dosyalarının kaydedilmesi faydalıdır çünkü RAW formatı kamera tarafından sunulan tüm dinamik aralığı korur ve orijinal verileri etkilemeden görüntü yakalama sonrası değişiklik yapılmasına izin vermektedir [49]. Kullanılan telefon kamerasının RAW formatı desteklenmediği için JPEG formatında fotoğraflar çekildi. Çalışmada nispeten küçük objelerden iki tane obje test edildi. Ayrıca çalışmada bir adet (c eseri) eser büyük ölçekli tercih edilmiştir. Objeler ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Test nesnelere ait temel bilgiler.

Eser	En	Boy	Yükseklik
a	32	35	64
b	24	42	78
c	26	205	185

\*birimler cm'dir ve yaklaşık değerlerdir.

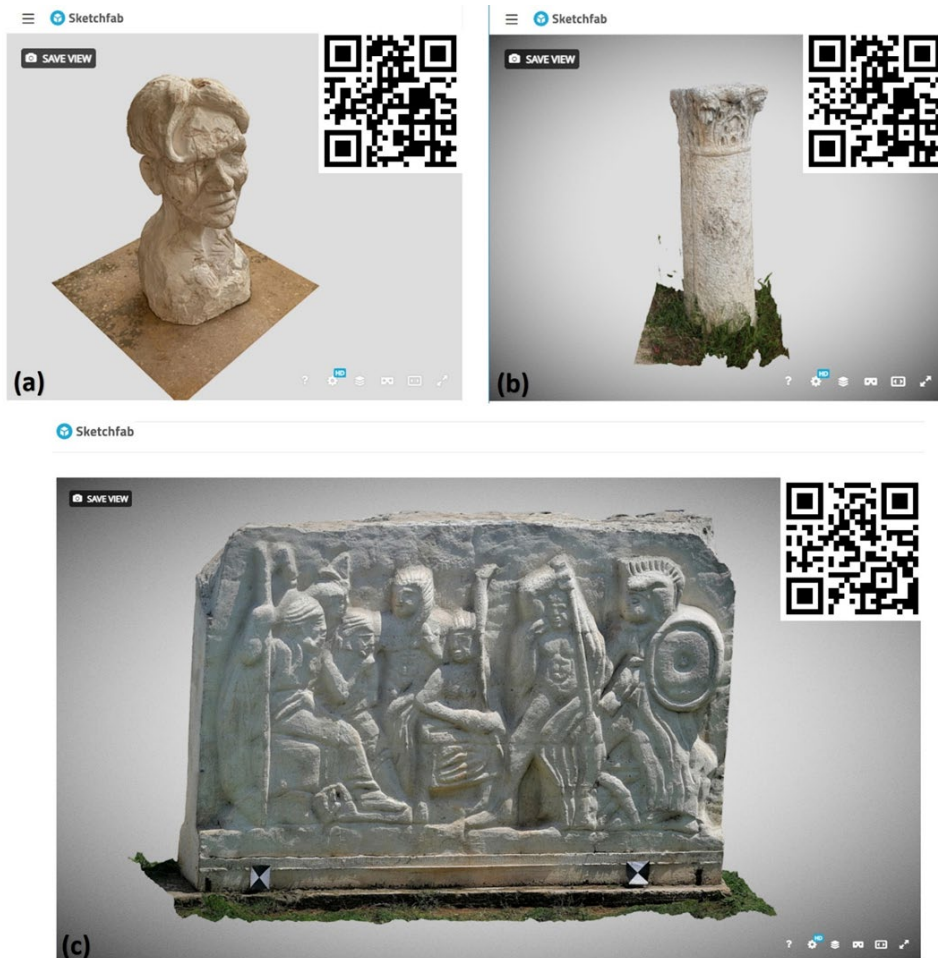
Veri işleme ve 3B yeniden oluşturma iş akışı açısından yazılım, aşağıdaki ana adımlardan oluşan iş akışı takip edilmiştir:

- Görüntü hizalama (çıkıtı - Seyrek Nokta Bulutu ve kamera pozları)
- Yoğun Nokta Bulut yeniden yapılandırması (ve/veya Derinlik Haritaları oluşturma)
- Ölçeklendirme
- Ağ oluşturma (Yoğun buluttan veya Derinlik Haritalarından)
- Doku üretimi
- 3B model

İlk adım, görüntü hizalamasıdır. Özellik algılama, eşleşen nokta çiftleri ve üçgenleme adımları bu aşamada yapılmaktadır. 3B uzaydaki nesne noktaları, en az iki, ancak ideal olarak daha fazla görüntüden yansıtılan görüntü ışınlarının üçgenleştirilmesiyle elde edilir. Bu adımda, kameranın geometrik özelliklerini ve lens distorsiyonunu iyileştirmek ve 3B rekonstrüksiyonu optimize etmek için ışın demetleri ile dengeleme işlemi kullanılır. Görüntü hizalama işleminin çıktısı, bir nesne seyrek nokta bulutu ve ardından tahmini kamera konumlarıdır. Tahmini bağlantı noktasının 3B konumu ile bir görüntü üzerindeki yeniden yansıtılan nokta konumu arasındaki fark (RMS yeniden yansıtma hatası), SfM sürecini değerlendirmek için ölçütlerden biri olarak kullanılabilir [50]. İşlemenin ikinci adımı, daha büyük miktarda görüntü pikseli kullanılarak oryantasyon parametrelerinin yeniden hesaplanmasından oluşan yoğun nokta bulutunun hesaplanmasıdır. Bir sonraki adım, nesne yoğun bulut verilerinden ağ oluşturmaya içerir [50,51]. Veri işlemenin son aşaması, 3B modeli görüntülerden uyarlanan bir doku ile kaplamak için kullanılan doku oluşturmadır. Bu durumda, toplanan JPEG verileri, genel bir nesne dokusu eşleme sürecini iyileştirmek için sonradan işlenebilir [52]. Çalışmada elde edilen her üç objenin yüksek kalitede 3B modeline ait görseller Şekil 3'te verilmiştir. Her objenin çekim yapılan yeri, saati ve kamera çekim mesafesi (obje ile kamera merkezi arasındaki mesafe) farklı olduğu için üç objenin YÖA sırasıyla "a,b,c" için; 2,5, 4, 11 mm'dir. Özellikle "c" eserinin diğer eserlere göre daha düşük YÖA sahip olması objenin boyutunun ilişkilidir. Özellikle üst bölgelerin fotoğraf çekiminde oluşan hataların etkilediği düşünülmektedir. Modeller tamamlandıktan sonra ve analiz edildikten sonra WEB tabanlı görselleştirme ve sunum için Sketchfab arayüzüne aktarılmıştır (Şekil 4). Şekil 4'te görüldüğü üzere üç eserin (a,b,c) için paylaşım adresleri oluşturulmuştur. "A" eseri için: <https://skfb.ly/oGLMK>. "B" eseri için: <https://skfb.ly/oGLOs>. "C" eseri için: <https://skfb.ly/oGFpP>. Ayrıca her esere ait karekod taratılarak WEB tabanlı görselleştirmenin uygulandığı platforma erişilebilmektedir.



Şekil 3. Fotogrametri yöntemi ile üretilmiş 3B modeller.



Şekil 4. Fotogrametri yöntemi ile üretilmiş modellerin WEB tabanlı görselleştirilmesi.

#### 4. Tartışma

Kültürel miras nesnelerinin hassas ve son derece ayrıntılı sanal temsili, bilgisayar grafiklerindeki hızlı gelişmeye rağmen hala bir sorun olmaya devam ediyor. Fotogrametri, kültürel mirasın etkileşimli görselleştirilmesi için yeni yollarla büyük olanaklar sunuyor. Bununla birlikte, fotogrametriyi WEB tabanlı görselleştirme sahnesine dahil edilmesi ile özellikle paydaşlara erişim imkânı daha da artmıştır. Bu nedenle, giriş verileri olarak fotoğrafları ve sonuç olarak 3B modellerin WEB tabanlı etkileşimli sahnesini bağlamak için bir yöntem geliştirmek önemlidir. Fotogrametrideki en önemli kavram fotoğraftır. Önceleri sadece metrik kameralar ile yapılan çalışmalar sonraları metrik olmaya kameraların kullanılması ile yeni bir aşama oluşturmuştur. Özellikle bu gelişim fotogrametrinin dijitalleşmesi ve SfM algoritmasının uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fotogrametride veriye erişimin en iyi düzeyde ve en az maliyetle sağlanması önemli bir etkidir. Bu sebeple telefon gibi akıllı mobil cihazlara entegreli kameralar ile yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Özellikle küçük ölçekte ve sınırlı alanlarda cep boyutunda araç (tabletler, akıllı telefonlar ve bir renk hedefi) aracılığıyla esere ait görüntüleri kullanarak nesnelere kolayca sayısallaştırmak ve 3B belgelemek için fotogrametri entegrasyonu önemli bir çözüm oluşturmuştur. Orta düzey bir akıllı telefon kamerası kullanılarak elde edilen 3B modellerin, sınırlı alanlarda küçük ve orta veya büyük ölçekte, büyük ve düşük maliyetli dokümantasyon için yeterince doğru olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir. Ayrıca cep telefonu kamerası fotogrametri entegrasyonu, uzman olmayan kişilerin çok düşük bir maliyetle yüksek kaliteli 3B fotogerçekçi modelleri elde etmesinin yolunu açmıştır.

Yeni teknolojiler gerçek sanat eserlerinin/heykellerin yerini tutamaz, ancak konservatörlerin inceleme, belgeleme ve durumlarını değerlendirme yöntemlerini önemli ölçüde iyileştirebilir. Seçilen heykellere (küçük ölçekli ve büyük ölçekli), koruma planlamasının temelini oluşturan belgeleme sürecini bilgilendiren çeşitli 3B yöntemler uygulandı. Üç boyutlu gösterimler, herhangi bir müdahaleden önce gerekli olan, zamanın belirli bir noktasında sanat yapıtlarının fiziksel yapısı ve durumunun daha kapsamlı kayıtlarını (geçmişlerinin kanıtı) sağlar. Üç boyutlu grafik sunumlar, konservatörlerin (geleneksel) 2B sunumlarla elde edilmesi zor olan belirli verileri görselleştirmelerine olanak tanır, ancak bunların kullanımı yeni beceriler, bilgi ve ek ekipman veya diğer uzmanlarla gerekli iş birliğini gerektirir ki bu her zaman mümkün değildir. Fotogrametri ve 3 boyutlu modelleme ile oluşturulan heykellerin 3 boyutlu

temsillerinde yorumlayıcı yaklaşımlar, kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımları ve SfM algoritması ilkeleri uygulanmıştır. Sonuçlar fotogerçekçi görselleştirmeler, etkileşimli sunumlar (SketchFab 3B görüntüleyici), ve yorumlayıcı animasyonlardır. Bu yaklaşımlar, heykellerin mirasını ve özellikle dijital korumalarını sunmanın yeni yollarını açmakta ve bu da araştırma bulgularının kamusal alanda yayılmasına yönelik olasılıkları genişletmektedir.

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında tarihi küçük objelerin dokümantasyonu için metrik olmayan cep telefonu kameralarının performansı değerlendirilmiş ve sonuç ürünler incelendiğin de gelişen donanımsal teknolojilerle SfM tekniğinin tatmin edici sonuçları olduğu görülmüştür.

Sonuçların daha fazla kullanıcıya ulaşması günümüz internet teknolojisiyle daha mümkün hale gelmiştir. Bu sayede her toplumun kültürel mirasları olan bu eserler uluslararası düzeyde tanıtılması daha mümkün hale gelmektedir. WEB tabanlı görselleştirme ve bunun yayımlanması ülke kültürel mirasları açısından E-müzecilik için çok önemli bir hale gelmiştir. Elde edilen modellerin sonucunda WEB tabanlı görselleştirilme sayesinde gerçekçi bir deneyime ulaşılmasının mümkün olduğu ve E-müze gibi sanal ortamların hızlı ve etkili bir biçimde yapılabileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

#### Yazarların Katkısı

**Mustafa Emre Döş:** Kavramsallaştırma, metodoloji, kaynaklar, yazma, inceleme ve düzenleme, denetim.

**Abdurahman Yasin Yiğit:** Yazılım, doğrulama, metodoloji, kaynaklar, yazma, inceleme ve düzenleme, görselleştirme.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Reale, D., Noviello, C., Verde, S., Cascini, L., Terracciano, G., & Arena, L. (2019). A multidisciplinary approach for the damage analysis of cultural heritage: the case study of the St. Gerlando Cathedral in Agrigento. *Remote Sensing of Environment*, 235.
- [2] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & 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.
- [3] Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- [4] Polat, N., Onal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S., & Mutlu, S. (2021). Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Uç Boyutlu Olarak Modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 594-601.
- [5] Cömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19, Zonguldak.
- [6] 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.
- [7] Kaya, Y., & Yiğit, A. Y. (2020). Dijital El Kameraları Kullanılarak Kültürel Mirasın Belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 33-38.
- [8] Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K., & Labeledz, P. (2021). Digital Modelling and Accuracy Verification of a Complex Architectural Object Based on Photogrammetric Reconstruction. *Buildings*, 11(5)
- [9] Güleç Korumaz, A., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [10] Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14. DOI: 10.53030/tufod.899089.
- [11] 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.
- [12] Döş, M. E., Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Documenting historical monuments using smartphones: a case study of Fakih Dede Tomb, Konya. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 53-60.
- [13] Yakar, M., Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2013). 3D modeling of historical doger caravansaries by digital photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(2).
- [14] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22.
- [15] Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14. DOI: 10.53030/tufod.899089.
- [16] Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. *In Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, 73-75, Tunisia, Springer International Publishing.
- [17] Şenol, H. İ., & Orman, E. (2022). Diyarbakır Mardin Kapı'nın Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3B Belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1-6. DOI: 10.53030/tufod.1099940.
- [18] Oruç, M. E. (2021). Küçük objelerin modellenmesinde videogrametri ve fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 62-68. DOI: 10.53030/tufod.1019385
- [19] Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70. 10.51946/melid.982814
- [20] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- [21] Amazon, Samsung Galaxy A52 (2023). <https://www.amazon.com/dp/B09859RY5M?tag=gsmaarena093-20&linkCode=osi&th=1>. (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).
- [22] Agisoft (2023). Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8; Agisoft LLC: St. Petersburg, Russia, p. 195. (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).
- [23] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22. DOI: 10.53030/tufod.1101427
- [24] Kaya, Y., Şenol, H. İ., & Polat, N. (2021). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- [25] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23. DOI: 10.51534/tiha.1130929
- [26] Polat, N., & Kaya, Y. (2021). Investigation of the Performance of Different Pixel-Based Classification Methods in Land Use/Land Cover (LULC) Determination. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [27] Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27. DOI: 10.51534/tiha.911147

- [28] Oruç, M. E., & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3 (1), 17-24. DOI: 10.51946/melid.922948
- [29] Polat, N., Çokoğullu, S., Memduhoğlu, A., Ulukavak, M., Şenol, H. İ., Oral, M., Karaçizmeli, M., & Marangoz, Ö. (2021). İHA Fotogrametrisinin Arkeolojik Yüzey Araştırmalarına Katkılarının İncelenmesi. *TÜBA-AR Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi*, (28), 175-186.
- [30] Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- [31] Oruç, M. E., & Baş, G. (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- [32] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röle alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- [33] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022). Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62-67.
- [34] Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 1-10. DOI: 10.51946/melid.1109529
- [35] Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2015). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics And Computers*, 3(1), 32-36.
- [36] Yakar, M., & Omar, M. (2016). Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin modellenmesi. *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 15, 2-20162.
- [37] Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2022). 3B Kent Modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 97-105.
- [38] Kabadayı, A., & Uysal, M. (2020). Çok yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 43-48.
- [39] Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry. *Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University: Columbus, OH, USA*, 79-95.
- [40] Döş, M. E., & Yiğit, A. Y. (2022). Tarihi minberlerin fotogrametri yöntemi ile belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 58-65. DOI: 10.53030/tufod.1197086
- [41] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for a geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- [42] Aicardi, I., Chiabrande, F., Maria Lingua, A., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257-266. doi:
- [43] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- [44] Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling the World from Internet Photo Collections. *Int J Comput Vis*, 80, 189-210. DOI: 10.1007/s11263-007-0107-3.
- [45] Büyükdemircioğlu, M., Kocaman, S., & Işıkdag, Ü. (2018). 3 Boyutlu Şehir Modeli Oluşturma ve Web-Tabanlı Görselleştirme. VII. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2018), 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- [46] Schultz, R. B., Kerski, J. J., & Patterson, T. C. (2008). The use of virtual globes as a spatial teaching tool with suggestions for metadata standards. *Journal of Geography*, 107(1), 27- 34.
- [47] Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S., & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.
- [48] <https://sketchfab.com/> (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).
- [49] England, H. (2017). Photogrammetric applications for cultural heritage. Guidance for Good Practice. Swindon. *Historic England*.
- [50] Stathopoulou, E. K. Welponer, M., & Remondino, F. (2019). Open-Source Image-Based 3d Reconstruction Pipelines: Review, Comparison and Evaluation. *In Proceedings of the 6th International Workshop Low Cost 3D—Sensors, Algorithms, Applications*, Strasbourg, France, 2-3 December 2019, XLII-2/W17, 331-338.
- [51] Rahaman, H., & Champion, E. (2019). To 3D or not 3D: Choosing a photogrammetry workflow for cultural heritage groups. *Heritage*, 2(3), 1835-1851.
- [52] Agisoft Metashape (2023). Available online: [https://www.agisoft.com/pdf/metashape\\_comparison.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape_comparison.pdf) (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

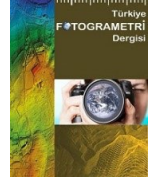




## Türkiye Fotogrametri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

e-ISSN 2687-6590



# İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi

Adem Kabadayı<sup>1\*</sup>, Alperen Erdoğan<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaathli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66900, Yozgat, Türkiye;  
(adem.kabadayi@bozok.edu.tr; alperen.erdogan@bozok.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Kabadayı, A., & Erdoğan A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.

Geliş : 12.06.2023  
Revize : 18.06.2023  
Kabul : 18.06.2023  
Yayınlama : 30.06.2023

### Özet

Ülkemizin her bir karış toprağı birçok uygarlığa ev sahipliğı yapmıştır. Türkiye'de bulunan Yozgat Çilekçi Türbesi, ülkenin sahip olduğu çeşitli kültürel miras örneklerinden biridir. Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle çeşitli medeniyetlere ev sahipliğı yapmış, bu da zengin ve çeşitli bir kültürel miras alanına sahip olmasını sağlamıştır. Bu tür kültür varlıklarının korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için bu yapıların mevcut durumlarının belgelenmesi ve izlenmesi esastır. İnsansız Hava Araçları (İHA) ve yersel fotogrametrik teknikler gibi ileri teknoloji kullanımının bu konuda oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. Kültürel mirasları kayıt altına almak için kullanılan teknolojilerden biri de dijital fotogrametridir. Bu çalışma Yozgat'ın güneyinde, merkeze yaklaşık 11 km uzaklıkta Azizli mahallesinde bulunan Çilekçi Türbesi'nin belgeleme amaçlı fotogrametrik rölöve çalışmasını içermektedir. Yapılan çalışma sonrasında yapının üç boyutlu modeli ve nokta bulutu elde edilmiştir. Teknoloji ve yazılımların da yardımıyla dijital fotogrametri tekniğı her geçen gün kendini sürekli güncellemekte, kültür varlıklarının belgelenmesinde zaman ve maliyet açısından bizlere önemli kolaylıklar ve fırsatlar sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan algılama, İHA, fotogrametri, 3B model.

## Generation of 3D Point Cloud and Model of Yozgat Çilekçi Tomb Using UAV Photogrammetry

\*Corresponding Author:  
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

### Research Article

**Citation:** Kabadayı, A., & Erdoğan A. (2023). Generation of 3D Point Cloud and Model of Yozgat Çilekçi Tomb using UAV Photogrammetry. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(1), 29-35 (in Turkish).

Received : 12.06.2023  
Revised : 18.06.2023  
Accepted : 18.06.2023  
Published : 30.06.2023

### Abstract

Every inch of our country has been home to many civilisations. Yozgat Çilekçi Tomb located in Turkey, is one of the various examples of cultural heritage that the country has. Turkey has hosted various civilisations due to its geographical location, which has enabled it to have a rich and diverse cultural heritage. In order to protect such cultural heritage assets and transfer them to future generations, it is essential to document and monitor the current status of these structures. The use of advanced technologies such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and ground-based photogrammetric techniques have proven to be highly effective in this regard. One of the technologies used to record cultural heritage is digital photogrammetry. This study includes the photogrammetric survey of the Çilekçi Tomb, which is located in the Azizli neighbourhood in the south of Yozgat, about 11 km from the centre, for documentation purposes. After the study, a three-dimensional model and point cloud of the building were obtained. With the help of technology and software, digital photogrammetry technique is constantly updating itself day by day and offers us important conveniences and opportunities in terms of time and cost in documenting cultural assets.

**Keywords:** Remote sensing, UAV, photogrammetry, 3D model.

## 1. Giriş

Kültürel mirasın korunması sadece geçmişin korunmasıyla ilgili değil, aynı zamanda bugünü anlamak ve daha iyi bir gelecek inşa etmekle de ilgilidir. Kültürel alanların korunması, insanların tarihten ders almasına, bir kimlik duygusu geliştirmesine ve kültürel çeşitliliği teşvik etmesine olanak tanır. Kültürel miras alanları, doğal afetler, savaş, yangın ve kötüye kullanım dahil olmak üzere çeşitli tehditlere karşı savunmasızdır. Bu kültür mirasları korumak, gelecek nesillere aktarmak ve hayatta kalmalarını sağlamak için belgelemek çok önemlidir.

Kültürel miras, bir toplumun değerlerini, inançlarını ve geleneklerini yansıtan, nesilden nesile aktarılan zengin tarihi geçmişimizin tezahürüdür. Bu paha biçilmez varlıkları gelecek nesiller için korumak ve belgelemek bizim sorumluluğumuzdur [1].

Tarihi eserlerin korunması, geçmişimize sahip çıkılması ve gelecek nesillere aktarılması için mevcut tarihi yapı ve nesnelerin 3 boyutlu temsillerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Tarihi yapıların en uygun dijital modelleme tekniği kullanılarak, geometrik özelliklerin ve mevcut durumlarının kaydedilmesi önemlidir. Savaşlar, sık yaşanan doğal afetler ve iklim değişiklikleri gibi nedenlerle kültürel varlıklarımızın tahrip olması veya yok olması durumuna karşı dijital olarak kaydedilmesi, korunması ve muhafaza edilmesi için dijital olarak modellenmesi gereklidir [2]. Eserleri 3B olarak modellemek, orijinal şekillerini ve yerleşimlerini korumak için en basit yaklaşımdır. Kaliteli görünüm ve detaylarla dijital ortamda, diğer projelere altlık teşkil etmek ve ihtiyaç duyulduğunda kullanıma sunmaktır. Belgeleme, tarihi kalıntıların daha önemli hale gelmesiyle aynı zamanda daha önemli ve çeşitli hale gelmeye başlamıştır. Verimlilik, maliyet ve metrik (ölçümlü), görsel (fotoğrafçılık) ve dijital (bilgisayarlı) ortamlarda çalışma açısından fotogrametri, mevcut belgeleme teknikleri arasında öne çıkıyor [3].

Fotogrametrik yöntemler, geleneksel belgeleme tekniklerine göre; modeli yapılacak objenin özelliklerinin son derece doğru ve hassas ölçümlerini sağlayarak ayrıntılı ve güvenilir 3B modeller sağlar. Fotogrametrik teknikler tahribatsızdır, belgeleme sürecinde kültürel miras alanına zarar verme riskini en aza indirir. Ayrıca, daha az pahalı ekipman ve yazılım gerektirdiğinden, lazer tarama gibi diğer belgeleme yöntemlerinden nispeten daha uygun maliyetlidir [4]. Geleneksel tekniklerden daha hızlıdır ve geniş alanların ve birden çok alanın hızlı bir şekilde belgelenmesini sağlar. Bunların yanı sıra, arkeolojik alanlar ve tarihi binalardan müze kalıntılarına ve su altı kalıntılara kadar çeşitli kültürel miras alanlarına uygulanabilir [5].

Fotogrametri alanı sürekli gelişmektedir ve teknolojideki ilerlemelerin fotogrametrik yöntemlerin doğruluğunu, verimliliğini ve erişilebilirliğini daha da geliştirmesi beklenmektedir. Bazı mevcut gelişmelere bakıldığında; fotogrametrinin lazer tarama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve Sanal Gerçeklik (VR) gibi diğer teknolojilerle entegrasyonu, kültürel miras alanlarının belgelenmesini ve görselleştirilmesini geliştirebilir. Daha gelişmiş yazılım ve algoritmaların geliştirilmesi, fotogrametrik veri işleminin doğruluğunu ve hızını artırabilir. Görüntü yakalama ve veri işleme gibi fotogrametrik işlemin belirli yönlerinin otomasyonu, verimliliği daha da artırabilir ve insan müdahalesini azaltabilir. Fotogrametrik yöntemlerle ilgili eğitim programlarının ve eğitim kaynaklarının artan mevcudiyeti, bu teknikleri kültürel miras belgelerine uygulayabilecek yetenekli bir iş gücünün oluşturulmasına yardımcı olabilir. Kültürel miras alanlarının belgelenmesi, bunların korunması, araştırılması ve gelecek kuşaklara aktarılması hayati önem taşımaktadır. Fotogrametrik yöntemler, bu sitelerin doğru ve ayrıntılı 3B modellerini oluşturmak için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Teknolojideki sürekli ilerlemeler ve artan erişilebilirlik ile fotogrametri, kültürel miras belgelemesinin geleceği için büyük umut vaat etmektedir [6-7].

Fotogrametrik yöntemler, kültürel miras alanlarının belgelenmesinde çok sayıda uygulamaya sahiptir, bunlardan bazıları; arkeolojik alanların 3B modellerini oluşturmak için yaygın olarak kullanılır ve analiz, yorumlama ve sanal yeniden yapılandırma için değerli veriler sağlamaktadır. Restorasyon, koruma ve eğitim amaçlı kullanılacak tarihi binaların ve anıtların doğru ve ayrıntılı 3B modellerini oluşturmak için kullanılabilir.

Müze eserlerinin 3B modellerini oluşturmak için fotogrametrik yöntemler kullanılabilir ve araştırmacıların nesnelere fiziksel olarak elmeden incelemelerine ve analiz etmelerine olanak tanır. Fotogrametri, kaya sanatı ve yazıtları belgelemek, bunların karmaşık ayrıntılarını korumak ve araştırmacılar için değerli veriler sağlamak için etkili bir araçtır [8].

Bu çalışmada, Yozgat Çilekçi türbesinin İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak belgeleme uygulamasını içermektedir. Çalışma içerisinde türbenin yoğun nokta bulutu üretilmiş ve 3 boyutlu modellenmesi yapılmıştır. Fotogrametrik yöntem ile yapılan çalışmalarda İHA fotogrametrisi yapılan çalışmaların geleneksel yöntemlere göre avantajlarına yer verilmiştir. Üretilen modelin hassasiyetine yer verilmiştir. Ayrıca kültürel mirasın belgelenmesinin önemine, kullanılan çeşitli tekniklere değinilmiştir.

## 2. İHA Fotogrametrisi

Fotogrametri, gerçek dünyadaki nesnelerin veya sahnelerin doğru haritalarını, modellerini veya çizimlerini ölçmek ve oluşturmak için fotoğrafların kullanılmasını içeren bir tekniktir. Bu yöntem, fotoğraflardaki noktalar arasında uzamsal ilişkiler kurmak için geometri ve trigonometri ilkelerine dayanır. Fotogrametri, doğru ve uygun maliyetli sonuçlar üretme kabiliyeti nedeniyle arkeoloji, mimarlık ve mühendislik dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde yaygın olarak benimsenmiştir [9].

İki ana fotogrametri türü vardır: havadan ve karadan. Hava fotogrametrisi, bir uçak, insansız hava aracı veya uydu gibi yüksek bir konumdan görüntü yakalamayı içerir. Karasal fotogrametri ise, özel kameralar veya kamera donanımlı cihazlar kullanılarak yer seviyesinden görüntü alınmasını içerir. Yapının ölçeğine ve karmaşıklığına bağlı olarak, her iki tür de kültürel miras alanlarının belgelenmesinde kullanılabilir.

İHA fotogrametrisi, yüksek çözünürlüklü hava görüntülerini hızlı ve verimli bir şekilde yakalama kabiliyeti nedeniyle son yıllarda giderek daha popüler hale geldi. Bu yöntem, bir sitenin çeşitli açılardan üst üste binen birden fazla görüntüsünü almak için yüksek çözünürlüklü bir kamera ile donatılmış bir İHA kullanmayı içerir. Bu görüntüler daha sonra, ayrıntılı bir 3B modele dönüştürülebilir yoğun bir 3B nokta bulutu oluşturmak için özel yazılım kullanılarak işlenir [10-11].

İHA fotogrametrisi ve yersel fotogrametrik teknikler, kültürel miras alanlarını belgelemek için kullanılabilir iki güçlü araçtır. İHA fotogrametrisi, insansız hava araçları kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntülerin yakalanmasını içerirken, karasal fotogrametri, sahanın ayrıntılı görüntülerini elde etmek için yer tabanlı kameralar kullanır. Her iki yöntem de kültürel miras alanlarının analizi, belgelenmesi ve korunması için gerekli olan doğru 3B nokta bulutları ve katı modeller üretilmektedir [12-13].

Kültürel miras dokümantasyonu için İHA fotogrametrisi kullanmanın avantajlarından bazıları; İHA'lar, sitenin özellikleri ve koşulları hakkında ayrıntılı bilgi sağlayan yüksek çözünürlüklü görüntüler yakalayabilir. İHA'lar, nispeten kısa bir süre içinde geniş alanları kapsayabilir ve bu da veri toplama sürecini daha verimli hale getirir. İHA fotogrametrisi, genellikle insanlı hava aracı veya uydu görüntüleri gibi geleneksel hava araştırma yöntemlerinden daha uygun maliyetlidir. İHA'lar, yürüyerek veya yer tabanlı ekipmanla ulaşılması zor veya tehlikeli olabilecek alanlara erişebilir ve bu alanların görüntülerini yakalayabilir [14-15].

## 3. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Yozgat ilinin merkezine yaklaşık 11 km uzaklıkta bulunan Azizli mahallesinde bulunmaktadır. Çilekçi türbesi N 39° 44' 58.9056" E 34° 46' 58.731" koordinatlarında bulunur (URL-1)



Şekil 1. Çalışma alanı.

## 4. Materyal ve Metot

Fotogrametri, nesnelerin veya sahnelerin 3B modellerini oluşturmak için fotoğraflardan ölçüm almayı içeren bir tekniktir. Alanla fiziksel temasa ihtiyaç duymadan bu yapıların doğru, ayrıntılı temsillerinin oluşturulmasına izin verdiği için mezarların ve diğer kültürel miras alanlarının belgelenmesi için özellikle yararlıdır [16].

Türbe etrafına yapının her tarafını görece şekilde zemine 3 adet sabit referans noktaları belirlenmiştir. Şekil 2'de gösterilen Hi-TARGET marka GNSS alıcısı ile ulusal ITRF96 koordinatları belirlenmiştir.



Şekil 2. GNSS alıcısı.

Türbenin üzerine yerleştirilen kağıt hedeflerin (Şekil 3) koordinatları Türbe etrafına yerleştirilen sabit referans noktalarına Şekil 4'te verilen elektronik totalstation kurularak 5 adet kâğıt hedeflerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Kağıt hedefler.



Şekil 4. Elektronik totalstation cihazı.

Türbe etrafını ve tamamını görecektir şekilde DJI Phantom 4 Pro (Şekil 5) cihazı ile havadan fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraf çekimleri bindirmeli olarak türbenin cephelerinde eksik yer kalmayacak şekilde farklı açılardan 72 adet fotoğraf çekimi gerçekleştirildi.



Şekil 5. DJI Phantom 4 Pro cihazı.

Toplanan veriler Agisoft yazılımında değerlendirilmiştir. Fotoğraflardan nokta bulutu ve 3 boyutlu model üretimi gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1. Verilerin Agisoft ile Fotogrametrik Değerlendirilmesi

Agisoft yazılımında Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı'nda entegreli olarak üretilen 20 mp kamera ile renkli fotoğraflar üretilmiştir.

Fotoğrafı çekilmiş alanın içindeki noktaların 3 boyutlu konumunu belirlemek için geleneksel fotogrametrik yöntemler, kameraların 3 boyutlu konumunun ve açısını veya bir dizi kontrol noktasının 3 boyutlu konumunun bilinmesini gerektirir. İlk yöntemde, kameraya monte GPS ve elektronik pusulanın olmadığı durumlarda, fotoğrafın geometrisini yeniden oluşturmak için üçgenleme kullanılabilirken, ikinci yöntemde kontrol noktaları giriş fotoğraflarında manuel olarak belirlenir ve fotoğrafın konumunu belirlemeye veya fotoğrafın açısını tahmini adı verilen bir işlem kullanılır. Buna karşılık Structure from Motion (SfM) yaklaşımı, modelin yeniden yapılandırılmadan önce yukarıdakilerin hiçbirinin bilinmesini gerektirmez. Kamera parametreleri ve fotoğraf geometrisi, birden fazla görüntüdeki eşleşen özelliklerin otomatik olarak tanımlanmasıyla eş zamanlı olarak yeniden yapılandırılır. Bu özellikler görüntüden görüntüye takip edilerek kamera konumlarının ve nesne koordinatlarının ilk tahminleri elde edilir ve bunlar daha sonra doğrusal olmayan en küçük kareler minimizasyonu kullanılarak yinelemeli olarak iyileştirilir [17].

Geleneksel fotogrametriden farklı olarak, SfM'den türetilen kamera konumları, yer kontrol koordinatları tarafından sağlanan ölçek ve yönelimleri içermemektedir. Sonuç olarak, 3 boyutlu nokta bulutları, bir gerçek dünya, 'nesne-uzay' koordinat sistemine hizalanması gereken göreceli bir 'görüntü-uzay' koordinat sisteminde üretilir. Çoğu durumda, SfM görüntü-uzay koordinatlarının mutlak bir koordinat sistemine dönüştürülmesi, bilinen nesne-uzay koordinatlarına sahip az sayıda bilinen yer kontrol noktasına (YKN) dayalı bir 3-D benzerlik dönüşümü kullanılarak elde edilebilir [18-19].

Agisoft PhotoScan yazılımı SfM'den gelen model oluşturma yöntemini kullanmaktadır. Bu sayede türbeden bindirmeli olarak çekilen fotoğraflar sayesinde iki boyutlu veriden 3 boyutlu model üretimi gerçekleştirilmektedir.

Agisoft yazılımına fotoğraflar eklenmiştir. Daha sonra fotoğraflar arasındaki ortak bölgeler kullanılarak bağlama noktaları yardımıyla hizalama işlemi (Align Photos) gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında 76342 adet bağlama noktası üretilmiştir. Daha sonra türbe çevresinde ve üzerine yerleştirilen 8 adet detay noktası yazılıma aktarılarak ilgili fotoğraflar üzerinde detay noktaları işaretlenmiştir. Detay noktalarına göre dengeleme yapılarak türbenin nokta bulutu üretilmiştir. Oluşturulan nokta bulutuna 3 boyutlu yüzey geçirilmiştir. Son olarak yüzeylere fotoğraflardan resim giydirmesi yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda türbenin 3 boyutlu modeli 1.58 mm/piksel yer örnekleme aralığına sahip olarak elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Totalstation Ölçüm Değerleri ile Agisoft Değerleri.

N.N.	Totalstation ile Ölçülen Değerler (Referans Koordinatlar)			Agisoft Yazılımından Elde Edilen Değerler		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	4402445.750	395701.878	1198.232	4402445.756	395701.883	1198.229
2	4402457.116	395698.576	1197.999	4402457.129	395698.580	1197.994
3	4402452.259	395685.108	1198.088	4402452.256	395685.122	1198.086
4	4402447.903	395697.192	1199.971	4402447.933	395697.229	1199.963
5	4402453.543	395695.973	1199.689	4402453.555	395696.019	1199.722
6	4402452.634	395688.488	1199.889	4402452.645	395688.486	1199.889
7	4402446.929	395689.306	1200.028	4402446.941	395689.303	1200.023
8	4402447.010	395693.326	1200.112	4402446.991	395693.338	1200.116

**Şekil 6.** Yoğun Nokta Bulutu.**Şekil 7.** DJI Kalitede Model (Ön taraf).**Şekil 8.** DJI Kalitede Model (Arka Taraf).

## 5. Doğruluk Analizi

Konumsal hataların tespiti için sonuç ürün olarak ortaya çıkan modelde doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizi, türbe etrafına ve üzerine yerleştirilen sabit referans noktalarının jeodezik (totalstation) ölçme aleti ile belirlenen ulusal (ITRF96) koordinatları referans alınarak, 3 boyutlu modelden Agisoft yazılımı ile elde edilen veriler karşılaştırılarak yapılmıştır. Noktaların koordinatları arasındaki farkları değerlendirilerek  $x,y,z$  yönündeki karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Yapılan literatür çalışmalarında, Ulvi ve Yiğit (2019) "Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması" çalışmasında model doğruluğunu  $\pm 5.27$  cm olarak bulunmuşlardır. Ayrıca Ulvi v.d. (2020) "İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi" photomodeler yazılımında  $\pm 20.4$  mm ve Agisoft yazılımında  $\pm 17.1$  mm olarak bulunmuşlardır.

Tablo 1'de Totalstation ile ölçülen değerler ve Agisoft yazılımındaki hesaplama değerleri verilmiştir. Tablo 2'de yazılama ait hata değerleri verilmiştir. Karesel ortalama hatalarından yola çıkarak Agisoft yazılımında  $x,y,z$  koordinatlarının ortalama konum hatası  $\pm 3.16$  cm olarak tespit edilmiştir (Tablo 3). Literatüre bakıldığında kültürel miras dokümantasyon çalışmalarında kabul edilebilir hata değeri olarak görülmektedir.

**Tablo 2.** Agisoft Yazılımına Ait X,Y,Z Koordinatlarının Ortalama Konum Hatası.

N.N.	3B Hata Değeri						
	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar (cm <sup>2</sup> )			
	Vx	Vy	Vz	Pix	VxVx	VyVy	VzVz
1	0.6	0.5	-0.3	1.5	0.4	0.3	0.1
2	1.3	0.4	-0.5	0.8	1.7	0.2	0.3
3	-0.3	1.4	-0.2	0.4	0.1	2.0	0.0
4	3.0	3.7	-0.8	1.9	9.0	13.7	0.6
5	1.2	4.6	3.3	1.2	1.4	21.2	10.9
6	1.1	-0.2	0.0	0.7	1.2	0.0	0.0
7	1.2	-0.3	-0.5	0.6	1.4	0.1	0.3
8	-1.9	1.2	0.4	1.4	3.6	1.4	0.2

**Tablo 3.** Agisoft Yazılımından Elde Edilen Kooordinatların Konum Hatası.

	Vi Farklar (cm)		
	Vx	Vy	Vz
Vmin	0.3	0.2	0.0
Vmax	3.0	4.6	3.3
Vort	0.8	1.4	0.2
m	1.6	2.4	1.3
mxyz	3.16		

## 6. Sonuçlar

Çilekçi Türbesi'nin İHA fotogrametrisi kullanılarak 3 boyutlu nokta bulutu ve katı modelinin oluşturulması, bu önemli kültürel miras alanının belgelenmesi ve korunması için değerli veriler sağlamıştır. Ortaya çıkan model; 3B model, türbelerin mimari özelliklerini, yapısal koşullarını ve tarihsel bağlamını analiz etmek için kullanılabilir. 3B model tarafından sağlanan ayrıntılı bilgiler, koruma ve koruma çabalarını bilgilendirebilir ve sitenin uzun vadeli hayatta kalmasını sağlamaya yardımcı olur. 3B model, sanal turlar ve eğitim kaynakları oluşturmak için kullanılabilir ve insanların kültürel mirası kendi evlerinin rahatlığında keşfetmelerine ve öğrenmelerine olanak tanır. 3B model, kültürel varlıkların zaman içindeki durumunu izlemek ve bütünlüğünü korumak için yönetim kararlarını bilgilendirmek için bir temel olarak hizmet edebilir.

Çalışma sonucunda bulunan hassasiyete bakıldığında, üretilen boyutlu model restorasyon projelerine altlık olarak kullanılabilir. Tarihi eserler bu şekilde belgelenerek gelecek nesillere aktarılması konusunda büyük önem taşımaktadır.

### Yazarların Katkısı

**Adem Kabadayı;** Metodoloji, Verilerin İşlenmesi, Kontrol, Yazım.

**Alperen Erdoğan;** Veri toplama

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

[1] Yakar, M., & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.

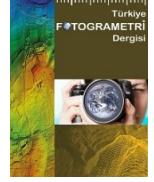
- [2] Kaya Y, Yiğit A Y, Ulvi A & Yakar M (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- [3] Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- [4] Ulvi, A. (2022). Using UAV Photogrammetric Technique for Monitoring, Change Detection, and Analysis of Archeological Excavation Sites. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 15(3), 1-19.
- [5] Yiğit, A. Y., Orhan, O., & Ulvi, A. (2020). Investigation of The Rainwater Harvesting Potential at the Mersin University, Turkey. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 64-75.
- [6] Şenol, H. İ., & Kaya, Y. (2019). İnternet Tabanlı Veri Kullanımıyla Yerleşim Alanlarının Modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.
- [7] Kaya, Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M., & Polat, N. (2019). Hacim Hesaplarında İHA Kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 07-10.
- [8] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [9] 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 Dergisi*, 5(1), 22-30.
- [10] Cömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları Ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19.
- [11] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Documentation of historical caravansaries by digital close range photogrammetry. *Automation in Construction*, 17(4), 489-498.
- [12] Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.
- [13] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- [14] Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E., & Yakar, M. (2022). Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanılarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması. *İçel Dergisi*, 2(2), 41-49.
- [15] Kusak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-

- means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- [16] Külür, S. (2002). Fotogrametri Ders Notları (basılmamış), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [17] Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling the world from internet photo collections. *International journal of computer vision*, 80, 189-210.
- [18] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- [19] Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018, 73-75, Springer International Publishing.*
- [20] Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2022). 3B Kent Modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 97-105. DOI: 10.56130/tucbis.1208096
- [21] Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70.



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Tarihi Kızılkoyun Nekropol Alanında M54 No.lu Kaya Mezarının Fotogrametri ile 3B Modellemesi

İbrahim Aydın <sup>1\*</sup>, Cömert Oso <sup>1\*</sup>, Mehmet Yaşar <sup>2</sup>, Nizar Polat <sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63290, Şanlıurfa, Türkiye; (ustatistik9@gmail.com; gomard.oso@gmail.com; nizarpolat@harran.edu.tr)

<sup>2</sup> Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, Kültür ve Turizm Dairesi Başkanlığı, 63000, Şanlıurfa, Türkiye; (mehmetkamerdin@gmail.com)



\*Sorumlu Yazar:  
gomard.oso@gmail.com

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Aydın, A., Oso, C., Yaşar, M., & Polat, N. (2023). Tarihi Kızılkoyun Nekropol Alanında M54 No.lu Kaya Mezarının Fotogrametri ile 3B Modellemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 36-42.

Geliş : 12.06.2023  
Revize 1 : 18.06.2023  
Revize 2 : 20.06.2023  
Kabul : 20.06.2023  
Yayınlama : 30.06.2023

### Özet

Kültürel mirasın belgelenmesi, geleneksel yöntemlere dayanan kaydetme ve koruma süreçlerinin yanı sıra fotogrametri gibi yeni bilimsel yöntemlerin kullanımıyla devrim yaratmıştır. Fotogrametri, son derece hassas 3 boyutlu (3B) modellerin oluşturulmasıyla kültürel miras alanlarının kesin ve verimli bir şekilde belgelenmesini sağlar. Kültürel miras alanları, bir toplumun tarihini, geleneklerini ve değerlerini yansıtan paha biçilmez kaynaklardır, ancak doğal afetler, insan faaliyetleri ve zamanın etkisi nedeniyle genellikle risk altındadırlar. Bu nedenle, kültürel mirasların korunması ve gelecek nesillere aktarılması için doğru şekilde belgelenmeleri önemlidir. Fotogrametri, kültürel miras alanlarının ayrıntılı ve doğru kayıtlarının oluşturulmasını kolaylaştırarak bu alanların korunmasına katkıda bulunur. Nekropoller, antik çağlarda kullanılan mezarlık alanlarıdır ve antik Yunan ve Roma dönemlerinde önemli arkeolojik kaynaklar olarak kabul edilir. Bu makalede, tarihi Kızılkoyun nekropolü alanında bulunan M54 no.lu kaya mezarının fotogrametri kullanılarak 3B modelinin oluşturulması üzerine bir çalışma sunulmaktadır. Bu çalışmada, Tarihi Kızılkoyun Nekropol Alanında M54 No.lu Kaya Mezarının fotogrametri yöntemiyle Agisoft yazılımı kullanılarak ayrıntılı bir şekilde belgelenmesini sunulmaktadır. Bu kapsamda mezara ait nokta bulutu 3B model cephe ortofotoları ve mimari çizimler gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotogrametri, belgeleme, Agisoft, Kızılkoyun Nekropolü, 3 boyutlu modelleme,-.

## 3D Modeling of M54 Rock Tomb in the Historical Kızılkoyun Necropolis Area Using Photogrammetry

\*Corresponding Author:  
gomard.oso@gmail.com

### Research Article

**Citation:** A., Oso, C., Yaşar, M., & Polat, N. (2023). 3D Modeling of M54 Rock Tomb in the Historical Kızılkoyun Necropolis Area Using Photogrammetry. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(1), 36-42 (in Turkish).

Received : 12.06.2023  
Revised 1 : 18.06.2023  
Revised 2 : 20.06.2023  
Accepted : 20.06.2023  
Published : 30.06.2023

### Abstract

The documentation of cultural heritage has revolutionized through the use of new scientific methods such as photogrammetry, alongside traditional recording and preservation processes. Photogrammetry enables the precise and efficient documentation of cultural heritage sites by creating highly accurate 3D models. Cultural heritage sites are invaluable resources that reflect a society's history, traditions, and values. However, they are often at risk due to natural disasters, human activities, and the passage of time. Therefore, it is important to document cultural heritage sites properly to ensure their preservation and transmission to future generations. Necropolises are burial grounds used in ancient times and are considered significant archaeological sources from the ancient Greek and Roman periods. Photogrammetry contributes to the conservation of these areas by facilitating the creation of detailed and accurate records of cultural heritage sites. In this study, the detailed documentation of the Rock Tomb No. M54 in the Historical Kızılkoyun Necropolis Area using the photogrammetry method using Agisoft software is presented. In this context, point cloud 3D model facade orthophotos and architectural drawings of the tomb were made.

**Keywords:** Photogrammetry, documentation, Agisoft, Kızılkoyun Necropole, 3 dimensional modeling.



## 1. Giriş

Kültürel mirasın belgelenmesi, önemli alanların ve yapıların korunması ve kaydedilmesi amacıyla uzun süredir geleneksel yöntemlere dayanmaktadır. Ancak, fotoğraflardan ölçümler oluşturma bilimi olan fotogrametri, bu alanda devrim niteliğinde bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle dijital fotoğraf makinelerinin yaygınlaşmasıyla birlikte fotogrametri yöntemi, kültürel mirasın belgelenmesinde sıklıkla tercih edilmektedir [1, 2].

Fotogrametri, fotoğraflar üzerinden hassas ölçümler yaparak üç boyutlu modellerin oluşturulmasını sağlar. Bu sayede kültürel miras alanları, koruma, restorasyon ve analiz çalışmalarında değerli bilgilere ulaşılmasını mümkün kılar. Fotogrametri yöntemi, diğer klasik belgeleme yöntemlerine kıyasla daha kolay ve verimli bir şekilde kullanılabilir [1-4].

Fotogrametri, kültürel mirasın belgelenmesinde birçok avantaj sunmaktadır. Öncelikle, dijital fotoğraf makinelerinin yaygınlaşması ve nispeten ucuz ve taşınabilir olmaları, bu yöntemin kullanımını kolaylaştırmıştır [2]. Ayrıca, hassas 3B modellerin oluşturulmasıyla miras alanları daha kesin ve detaylı bir şekilde belgenir.

Kültürel mirasın belgelenmesi, gelecek nesillere aktarılması ve korunması açısından büyük önem taşır. Fotogrametri yöntemi, bu süreçte büyük bir katkı sağlayarak miras alanlarının daha iyi anlaşılmasını ve korunmasını sağlar. Bununla birlikte, fotogrametri yönteminin daha da geliştirilmesi ve yeni teknolojilerin kullanılması, kültürel mirasın belgelenmesi alanında ileri adımların atılmasını sağlayacaktır [4].

Kültürel miras alanları, belirli bir toplumun tarihini, geleneklerini ve değerlerini yansıtan ve geçmişle somut bir bağlantı sağlayan paha biçilmez kaynaklardır. Ancak doğal afetler, insan faaliyetleri ve zamanın etkisi gibi çeşitli faktörler nedeniyle genellikle tehlike altındadırlar [5, 6]. Gelecek nesiller için kültürel mirasın korunması ve yaşatılması için doğru bir şekilde belgelenmesi büyük önem taşır. Kültürel miraslar, doğal veya insan kaynaklı etkiler nedeniyle zaman içinde tahrip olma veya tamamen yok olma riskiyle karşı karşıyadır [7].

Nekropoller, antik çağlarda kullanılan mezarlık alanlarıdır. Kelime, Yunanca "nekros" (ölü) ve "polis" (şehir) kelimelerinin birleşimiyle oluşmuş olup "ölüler şehri" anlamına gelir. Nekropoller genellikle şehirlerin dışında, eğimli bölgelerde veya tepelerde yer almaktadır. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde nekropoller, yer altına oyulmuş mezar odaları, sütunlu mezar anıtları, lahitler ve heykellerle süslenmiş anıtlar içerebilirdi. Bu mezarlık alanları, aynı aileden insanların mezarlarının bir araya geldiği küçük

mezarlık bölgelerinden oluşurdu. Tasarımları genellikle kültürel özelliklere göre değişiklik gösterirdi. Nekropoller, antik çağlarda hem dini hem de sosyal bir rol üstlenirdi. Mezarların ve anıtların tasarımı ve süslemesi, hayatta kalanların ölümlere olan saygısını ifade etmenin yanı sıra toplumun güçlü bir şekilde tabakalaşmasını yansıtıyordu. Bu nedenle, nekropoller, antik çağlara ilişkin sosyal ve dini yapılar hakkında önemli arkeolojik bilgiler sunan kaynaklar olarak kabul edilir. Bugün birçok nekropol, antik çağların izlerini taşımaya devam etmektedir. Bazıları turistik yerler olarak ziyaret edilebilir ve tarihi açıdan önemli bilgiler sunarlar.

Bu çalışma, kültürel mirasın belgelenmesinde fotogrametri yönteminin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Geleneksel belgeleme yöntemlerinin zaman alıcı ve emek yoğun olabileceği bilinmektedir. Özellikle büyük veya karmaşık yapıların detaylı kayıtlarını oluşturmak için el çizimi ve manuel ölçüm gibi yöntemler yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, fotogrametri, teknolojik gelişmelerle birlikte önemli bir araç haline gelmiştir.

Fotogrametri yöntemi, fotoğrafların kullanılmasıyla nesnelere 3B modellerini oluşturmayı amaçlar [8-10]. Bu çalışmada, tarihi Kızılıkoyun nekropolü alanında bulunan M54 no.lu kaya mezarındaki taş kapının fotogrametri kullanılarak 3B modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışma sürecinde, ölçümler hassas bir şekilde çelik şerit metre ile yapılmış ve detaylı fotoğraflar Canon marka DSLR fotoğraf makinesiyle çekilmiştir.

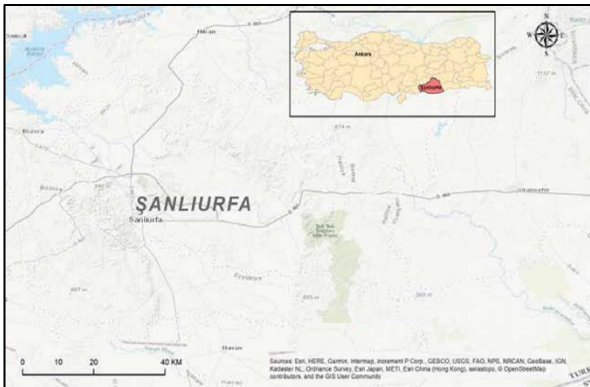
Fotogrametri, fotoğrafların analizi ve ölçüm verilerinin işlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, Agisoft yazılımı kullanılarak fotoğraflardan elde edilen verilerle 3B model oluşturulmuştur. Agisoft yazılımı, fotogrametri sürecinde fotoğrafların hizalanması, nokta bulutunun oluşturulması ve yüzeyin üç boyutlu modelinin elde edilmesi gibi işlemleri gerçekleştirmektedir. Modelin daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilmesi için vektörel çizimler de yine Agisoft yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, tarihi Kızılıkoyun nekropolü alanında bulunan M54 no.lu kaya mezarının taş kapısının detaylı ve doğru bir 3B modeli elde edilmiştir. Bu model, kültürel mirasın korunması, restorasyon çalışmaları ve analizleri için önemli bir kaynak sağlamaktadır. Ayrıca, fotogrametri yönteminin hızlı ve verimli olması, kültürel miras alanlarının daha etkili bir şekilde belgelenmesini ve gelecek nesillere aktarılmasını sağlamaktadır. Bu çalışma, fotogrametri yönteminin kültürel mirasın korunmasında ve arkeolojik çalışmalarda kullanımının artırılmasına katkıda bulunmaktadır.

## 2. Çalışma Alanı

Nekropolisler, Eski Yunancada Nekros=Ölü ve Polis=Şehir kelimelerinden oluşan, antik Yunan ve Roma kentlerinde kent merkezi dışında yer alan mezarlık alanlardır.

Kızılkoyun Nekropolü, Şanlıurfa merkez belediyelerinden olan Eyyübiye ilçesindeki Balıklı Göl platosunun 500m kadar kuzeyinde, Haleplibahçe'nin doğusunda yer alan Tıfındır Tepesi yamaçlarında kurulmuştur (Şekil 1). Antik Yunan ve Roma kültürünün Edessa kent merkezinde yer alan en önemli kalıntılardan biridir (Öztürk Tel vd., 2017). Bu mezarlar milattan sonra 2. ve 4. yüzyıl arasına tarihlendirilmektedir. Kızılkoyun Nekropolünde gerçekleştirilen kamulaştırma çalışmaları ile 389 gecekonduyu yıkılmıştır. Şanlıurfa Müze Müdürlüğü ve Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesinin ortaklaşa yürüttüğü arkeolojik kazı ve temizlik çalışmaları ile 105 kaya mezarı gün yüzüne çıkartılmıştır. Kolay şekillendirilebilen kireçtaşı ana kayanın belirli bir sistemle oyulmasıyla mezar odaları oluşturulmuştur. Mezar odalarının oluşturulması belli bir zaman dilimi ve yüksek maliyete mal olmuştur. Özellikle mezar odasının kazımı ve bu mezar odalarının kapı sisteminin daha sağlam olması için siyah bazalt taşından, bu bazalt taşların Karacadağ civarında getirildiği için bu ayrı bir maliyete sebep olmuştur. Mezar odaları genel olarak kare planlıdır. Kaya mezar odalarının içerisinde, sayıları o dönemin gömü ihtiyacına göre değişiklik gösteren klineler, yani ölü yatakları bulunmaktadır. Ölülerin bu klinelerin içerisine yatırılarak üzerinin kapak taşı ile kapatıldığı bilinmektedir. Bazı mezar odalarının içerisinde mitolojik ve dini sahnelerin yer aldığı kabartmalar bulunur. Mezarlıklarda ölünün yanı başına çeşitli hediyeler bırakılmakta, dönem dönem sunular yapılarak kurbanlar kesilmektedir. Edessa Kentinin önemli Nekropollerinden olan Kızılkoyun mezar büyüklükleri, mezar süslemeleri ve buluntuları bakımından oldukça sıra dışıdır.



Şekil 1. Nekropolün bulunduğu şehir.

Kızılkoyun Nekropolü'nün turizme kazandırılmasını sağlamak amacıyla Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi tarafından çevre düzenleme projesi gerçekleştirilmiştir. Alandaki (Şekil 2) çalışmalar 2017 yılında tamamlanmış olup 2020 yılında ziyarete açılmıştır. Ziyarete açıldığı günden beri yerli ve yabancı turist tarafından yaklaşık 800.000 kişi ziyaret etmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait yakın Google earth görüntüsü.

Kızılkoyun Nekropol alanında en önemli mezar odaları ve özellikleri kısaca şu şekildedir.

M13 No.lu Kaya Mezarı Kaya mezarının batı duvarı ve giriş kısmı çok fazla tahrip olmuştur. Mezarın doğusunda alınlık cephesinin ortasına tavus kuşu bezemesi işlenmiştir.

M51 No.lu Kaya Mezarı Ön girişli tek odalı mezar odasının ana giriş kapısının sağında ve solunda heykel nişleri ve nişler içinde ele geçen asker heykelleri bulunur. Bu asker heykelleri, yöresel Edessa kıyafetleri ve askeri teçhizat ile donatılmıştır. Her iki heykel kireçtaşından ve yekpare yapılmıştır.

M14 No.lu Kaya Mezarı Ön girişli tek odalı kaya mezarın ana giriş kapısının sağında ve solunda heykel nişleri bulunur. Mezar 5 arkosoliumludur. Mezar oldukça görkemli olup sütunludur.

M16 No.lu Kaya Mezarı Kaya mezarının giriş kapısı tahrip olmuştur. Tek odalı mezar odası kare planlı 5 arkosoliumludur. Doğudaki arkosoliumda bir kabartma bulunur. Kabartmada; en sağda bir kline üzerinde uzanmış ve elinde kadeh tutan bir erkek, hemen solunda erkek çocuk, en solda ise iki kadın işlenmiştir.

Tabula Ansata Edessa kentinin Kızılkoyun Nekropolü'nde tabula ansata içerisinde çift dilde (Grekçe ve Süryanice) yazıt yer alır. M.S. 3. yüzyıla ait yazıtın tercümesi: "Bu anıt Kineas çocukları Zooras, Bias ve Boethos'a ve de onların çocuklarına aittir".



Şekil 3. Kaya mezarı genel görünümü.



Şekil 4. Labarum jesus christ sembolü.

M54 No.lu Kaya Mezarı Çift odalı kaya mezarına (Şekil 3), 6 basamaklı bir merdiven ile çıkılmaktadır. Merdivenin her iki yanında kaide yer alır. Mezarın kapı lentosunun tam ortasında Labarum Jesus Christ sembolü (Şekil 4) bulunur. Erken Hristiyanlar için bu simge çok derin bir anlam taşımakta ve "İsa Mesih Tanrının Oğlu Kurtarıcı" ifadesini simgelemektedir. Girişte yer alan ilk taş kapı dikdörtgen yekpare bazalt taşından, ikinci taş kapı yekpare kireçtaşından yapılarak, silindirik taş bloğun yuvarlanarak oturtulması ile oluşturulmuştur.



Şekil 5. Arşitrav ve istiridyе.

M55 Nolu Kaya Mezarı Kaya mezarı tapınak cepmeli olmasıyla, şu ana kadar Edessa kentinde bulunan tek örnektir. Ön avlulu, tek odalı plan tipinde olan bu mezarda, 3 arkosolium ve 1 lahit bulunur. Önde yer alan her iki sütun korint başlıklıdır. Arşitrav (Bir sütun başlığının üzerinde duran bir lento veya kiriştir.) ve alınlığın ortası istiridyе formudur. Hint'ten Yunan'a birçok mitolojide "kötü ruhlardan koruyucu tılsım olarak" görülen istiridyе (Şekil 5) formu oldukça büyük işlenmiştir. Mezara yekpare dikdörtgen bir taş kapı ile giriş sağlanmaktadır.

M62 Nolu Kaya Mezarı Mezar odasına 6 basamaklı merdivenden oluşan dromos (koridor) ile giriş sağlanmaktadır. Kare planlı olan mezar odasında; kuzey ve güney cephede yarım daire arkosoliumlu birer sanduka mezar, doğu cephesinde üçgen alınlıklı bir sanduka mezar yer alır.

### 3. Yöntem ve Materyal

Yersel fotogrametri, yakın ve uzak mesafelerde 3B çizimlerin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir [11]. Farklı odak uzaklıklarına sahip kameralar ve özel yazılımlar kullanılarak gerekli yönlendirmeler yapılır ve fotoğraf yüzeyinden 3B modeller üretilir. Bu yöntemle modeli elde edilen nesnelerin konum bilgileri oluşturulur [1, 3]. Yersel fotogrametri birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu alanlar mimari, arkeoloji, sanayi, arazi etüdü, tıp, kriminoloji, trafik kazaları ve daha birçok alanda tercih edilmektedir. CAD tabanlı yazılımlar sayesinde yersel fotogrametrinin uygulama alanları kişinin hayal gücüne göre farklı alanlara kaymaktadır [12-15].

Bu yöntem çalışma alanının fotoğraflarının çekilmesi, görüntü ve nesne modelleme adımlarını içermektedir.

İlk olarak, M54 no.lu kaya mezarının detaylı fotoğrafları aşağıda Tablo 1.'de teknik özellikleri belirtilen Canon EOS 2000D ile el pozisyonu yatay ve dikey olacak şekilde ve görüntüleri üst üste bindirerek çekilmiştir. Bu fotoğraflar, farklı açılardan çekilmiştir ve yüksek çözünürlüklü olması sağlanmıştır. Bu adımın amacı, mezarın tüm detaylarını yakalayacak yeterli veri elde etmektir (Şekil 6). Fotoğraflarını çektiğimiz alanda belirgin olan detayların ölçülerini metre ile ölçülerek not alınmıştır. Bu adımda çekilen fotoğraflar kullanılarak çalışma alanının özellikleri tespit edilmiştir. Bu özellikler arasında şekli, boyutları ve diğer detayları bulunmaktadır. Bu işlem için fotogrametri yazılımı olan Agisoft Photoscan kullanılmıştır. Araziden elde edilen fotoğraflar ofis aşamasında bilgisayar ortamında işlenmektedir. Bu aşamada, görüntüleri işlemek ve Structure from Motion (SfM) kullanarak bir 3B model oluşturmak için özel bir yazılım kullanılır. Elde edilen fotoğraflar, son yıllarda yaygın olarak kullanılan devrim niteliğinde ve

uygun maliyetli bir fotogrametrik teknik olarak ortaya çıkan SfM yaklaşımı kullanılarak işlendi [15]. Geleneksel fotogrametriden farklı olarak SfM, matematiksel ve istatistiksel farklılıklar sunar. Geleneksel fotogrametri, küresel bir matematiksel model yoluyla küresel tutarlılığı, model geçerliliğini, doğru ölçümleri ve uyumluluğu hedeflerken, SfM, üç boyutlu (3B) oluşturmak için kamera parametrelerini, konumlarını ve nesne 3B geometrilerini otomatik olarak düzenleyen görüntü tabanlı bir modelleme tekniğidir. SfM bunu, farklı konumlardan çekilen görüntülerdeki karşılık gelen özellikleri hizalayarak ve fotogrametrik ölçüm süreçlerine uygun olarak uygun bir örtüşme oranı sağlayarak başarır [16]. Yersel fotogrametri, özellikle arkeolojik alanlarda kullanılan bir yöntemdir [17]. Bu yöntem, yüksek çözünürlüklü fotoğrafların çekilmesi ve fotogrametri yazılımları kullanarak model oluşturma işlemlerini içermektedir. Detaylı ve doğru sonuçlar elde etmek için oldukça etkilidir. Ancak doğru sonuçlar el etmek için yeterli veri toplama ve doğru işlemler yapmak önemlidir.

**Tablo 1.** Kameraya ait teknik özellikler.

Kamera üreticisi	Canon
Kamera modeli	Canon EOS 2000D
F durağı	f/7.1
Poz Süresi	1/25 sn.
Odak uzunluğu	18 mm



**Şekil 6.** Fotogrametri için fotoğraf çekme açıları ve sistemi.

Sonuç olarak, arkeolojik sit alanı olan Kızılkoyun nekropolü içerisinde yer alan M54 no.lu Kaya mezarının Labarum Jesus Christ sembolü olan pencere, Arşitrav ve alınlığın ortasındaki istiridye formları fotogrametrik 3B modelleri oluşturulmuştur. Oluşturduğumuz 3B bu model sayesinde ve Agisoft photoscan yazılımının Model sekmesindeki çizim araçlarını kullanarak CAD görünümünü çizildi (Şekil 7). Bu çizimler eserin orijinal ölçüleri ve şekli korunarak yapıldı. Gerek görüldüğünde dışa aktarma işlemleri yapılarak diğer CAD uygulamalarında görüntülenebilir ve üzerinde çalışma yapılabilir.



**Şekil 7.** Model ile CAD çizimleri.

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada Şanlıurfa Kızılkoyun nekropolü içerisinde yer alan M54 no.lu kaya mezarının girişinde kapı lentosunun sol tarafında bulunan iki sütunun birinde İsa'nın annesi Meryem ve diğer sütunda ise havarisi iki sütun arasında üstte istiridye kabuğunun 3B modellenmesi sağlanmıştır.

Modellerin oluşturulması için çok sayıda fotoğraf çekilmiştir ve bazı bölümlerin ölçümleri metre ile yapılmıştır. Bu fotoğraflardan 151 tanesi kullanılarak model üretilmiştir. İnsansız hava aracı ve benzeri bir platform kullanmadığımız için eserin üst bölümlerinin fotoğrafları çekilemediğinde dolayı model oluşturulurken üst kısımlar eksik kalmıştır. Çekilen fotoğraflar, fotoğrafların eşlenmesi, 3B nokta bulutunun oluşturulması (Şekil 8) (Tablo 2), 3B model üretimi (Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11) ve yüzey alanının oluşturulması iş akışıyla tamamlanmıştır. Gelecekte bu alanla ilgili herhangi bir deformasyon ve zamana bağlı tahribatlar sonucu yapılacak bir restorasyon veya yerinin değiştirilmesi gibi işleminde kullanılabilecek 3B modelin farklı uzantılarda çıktıları alınabilir.



**Şekil 8.** Yoğun nokta bulutu.



Şekil 9. 3B model ön görünümü.



Şekil 10. 3B modelin soldan görünümü.



Şekil 11. 3B modelin sağdan görünümü.

Tablo 2. 3B modele ilişkin bilgiler.

	Fotoğraf	Bağlantı	Yoğun	3B
M54	Sayısı	Noktası	Nokta	Model
Kaya			Bulut	Yüzler
Mezarı	151	75363	15.06	3.0
			milyon	Milyon

Çalışma kapsamında referanslama için herhangi bir koordinat verisi kullanılmamıştır. Fakat çalışma alanından düşey ve yatay objelerden uzunluk ölçüleri alınarak model ölçeklendirilmiştir. Daha sonra kontrol ölçümleri için araziden alınan farklı uzunluklar

ölçeklendirilmiş modelden alınan uzunluklar ile kıyaslanmıştır. Kıyaslanma işlemi ile karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Buna göre üretilen 3B modelin hatası 0.9 cm'dir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmanın sonucunda, kültürel mirasın belgelenmesi ve korunması için fotogrametri yönteminin önemi vurgulanmıştır. Fotogrametri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha kolay, hızlı ve etkili bir şekilde kültürel miras alanlarının belgelenmesini sağlamaktadır. Son derece hassas 3B modellerin oluşturulmasıyla, miras alanlarının kesin ve detaylı kayıtları elde edilebilmektedir. Kültürel miras alanlarının doğal afetler, insan faaliyetleri ve zamanın etkisi gibi faktörler nedeniyle risk altında olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, miras alanlarının doğru şekilde belgelenmesi, korunmaları ve gelecek nesillere aktarılması için büyük önem taşır. Fotogrametri yöntemi, bu süreçte büyük bir katkı sağlamaktadır. Hassas modellerin oluşturulması, koruma, restorasyon ve analiz çalışmalarında değerli bilgiler sunmaktadır.

Ayrıca, nekropoller gibi antik çağlara ait miras alanlarının belgelenmesi de çalışmanın bir parçası olmuştur. Nekropoller, antik dönemlerde kullanılan mezarlık alanları olarak bilinir ve antik Yunan ve Roma dönemlerinde önemli arkeolojik kaynaklar olarak kabul edilir. Bu çalışmada, tarihi Kızılkoyun nekropolü alanında bulunan M54 no.lu kaya mezarının fotogrametri kullanılarak 3B modeli oluşturulmuştur. Son olarak, gelecekteki çalışmalarda eksik kalan üst kısımlara ait fotoğrafların insansız hava aracı platformu kullanılarak tamamlanması planlanmaktadır. Bu yaklaşım, daha kapsamlı ve detaylı bir modelin elde edilmesini sağlayacaktır. İnsansız hava araçları, yüksek kaliteli hava fotoğrafları çekme yetenekleriyle kültürel miras alanlarının belgelenmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, kültürel mirasın belgelenmesinde fotogrametri yönteminin önemini vurgulayarak, miras alanlarının korunması ve gelecek nesillere aktarılması için doğru belgeleme çalışmalarının yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Fotogrametri, hassas modellerin oluşturulmasıyla miras alanlarının kesin ve verimli bir şekilde belgelenmesine katkı sağlamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu yöntemlerin daha da geliştirilmesi ve kültürel mirasın korunması için yeni yaklaşımların keşfedilmesi açısından önem arz etmektedir.

**Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- [1] Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M., & Karauğuz, G. (2013). Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivriz Rock Relief in Late Hittite Era. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13(2), 147-157.
- [2] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik*, 5 (1), 22-30.
- [3] Tel, H. Ö., & Yüksel, F. Ş. K. (017). Kızılkoyun Nekropolü Arkeolojik Sit Alanı'nın Koruma-Planlama Kapsamında Değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 7(16), 1-16.
- [4] Cömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19, Zonguldak.
- [5] Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yakar, M. (2019). Modeling Of Historical Fountains by Using Close-Range Photogrammetric Techniques. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 1-6.
- [6] Tercan, E. (2017). İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhaçlar Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 633-642. DOI: 10.21923/Jesd.315232.
- [7] Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., Mutlu, S. İ., Budan, M., Turgut, M., & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi . *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- [8] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.
- [9] Toprak, A. S., Polat, N., & Uysal, M. (2019). 3D modeling of lion tombstones with UAV photogrammetry: a case study in ancient Phrygia (Turkey). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(5), 1973-1976.
- [10] Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73,539-543.
- [11] Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008) Modeling the World from Internet Photo Collections. *Int J Comput Vis*, 80, 189-210.
- [12] Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2022). 3B Kent Modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 97-105. DOI: 10.56130/tucbis.1208096
- [13] Yakar, M., & Yılmaz, H. M. (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.
- [14] Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70.
- [15] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [16] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Documentation of historical caravansaries by digital close range photogrammetry. *Automation in Construction*, 17(4), 489-498.
- [17] Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, Tunisia 2018, 73-75, Springer International Publishing.



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>