

Türkiye  
**FOTOGRAMETRİ**  
Dergisi

Cilt/Volume: 6  
Sayı/Issue: 2  
Aralık/December  
2024



e-ISSN: 2687-6590

**Dergi Hakkında**

Türkiye Fotogrametri Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Fotogrametri alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmalarını yayımlayan 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 yayımlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğüne 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 yayımlanan 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 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

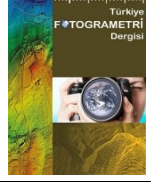
- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

# İÇİNDEKİLER

## CİLT 5 / SAYI 1

### Araştırma Makaleleri; Research Articles\*;

| Sayfa/Page<br>No | Makale Adı ve Yazar Adı<br>Article Name and Author Name  |
|------------------|--|
| 31-38*           | <i>Açık Ocak Maden Sahalarının İHA Teknolojisi Kullanılarak Tespiti ve Değerlendirilmesi</i><br><i>Detection and Assessment of Open-Pit Mining Sites Using UAV Technology</i><br><b>Güzide Önal, Doğa Fidan &amp; Ali Ulvi</b>   |
| 39-47*           | <i>İHA Fotogrametrisi Kullanarak Tarihi Alanların Üç Boyutlu Belgelenmesi: Soli Pompeiopolis Antik Kenti Örneği</i><br><i>Three-Dimensional Documentation of Historical Sites Using UAV Photogrammetry: The Case of Soli Pompeiopolis Ancient City</i><br><b>Elif Haksun Karakaya &amp; Ali Ulvi</b> |
| 48-53*           | <i>Tarihi Sütunların Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3 Boyutlu Modellenmesi ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi</i><br><i>3D Modeling and WEB Based Visualization of Historical Columns with Terrestrial Photogrammetry Method</i><br><b>Adem Kabadayı &amp; Yunus Kaya</b>                             |
| 54-70*           | <i>Kriminal Olay Yerlerinin Dijital Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Kullanımı</i><br><i>Utilization of Terrestrial Laser Scanning in the Digital Documentation of Crime Scenes</i><br><b>Dilara Özden Gür &amp; Murat Yakar</b>  |
| 36-42*           | <i>Mobil Cihazların Fotogrametri Tabanlı 3B Modellemedeki Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma</i><br><i>A Study on the Potential of Mobile Devices in Photogrammetry-Based 3D Modeling</i><br><b>Adem Kabadayı</b>   |



## Açık Ocak Maden Sahalarının İHA Teknolojisi Kullanılarak Tespiti ve Değerlendirilmesi

Güzide Önal<sup>1,2</sup>, Doğa Fidan<sup>3\*</sup>, Ali Ulvi<sup>4,5</sup>

- Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, 33110, Mersin, Türkiye; (onalg@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (onalg@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (dogafidan.61@gmail.com)
- Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)
- Mersin Üniversitesi, Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
dogafidan.61@gmail.com

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Önal, G., Fidan, D., & Ulvi, A. (2024). Açık Ocak Maden Sahalarının İHA Teknolojisi Kullanılarak Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 31-38.

Geliş : 15.11.2024  
Revize : 24.11.2024  
Kabul : 27.11.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

### Özet

Dünyada madencilik sektörü, maden sahalarının izlenmesi, genel durumun değerlendirilmesi ve madencilik faaliyetlerinin düzenlenmesine yönelik bir girişim içerisinde. Türkiye'de kömür madenciliği, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaya devam etmekte olup, kömür madeni sektörü yerli enerji üretimini artırma adına stratejik bir öneme sahiptir. Yeni teknolojiler, maden ocaklarındaki değişimleri hassas bir şekilde gözlemleme, çevresel etkileri değerlendirme ve üretim süreçlerini optimize etme konusunda önemli araçlar sunmaktadır. Açık ocak madenciliği alanında insansız hava aracı (İHA) kullanımı, madenlerinin dijital ortamda temsil edilmesi, üretim planlaması ve üretim yönetimi konusunda etkili bir rehberlik sağlayabilmektedir. Bu çalışmada Balıkesir ili Kepsut ilçesinde yer alan bir açık kömür madeni sahasının İHA fotogrametrisi yöntemiyle ortofoto, sayısal yükseklik modeli ve üç boyutlu (3B) yoğun nokta bulutu elde edilmiştir. Elde edilen sonuç ürünlerinin hassasiyeti, maden sahasında yersel ölçümlerle tespit edilen 8 adet doğrulama noktası kullanılarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Maden sahası, İHA, ortofoto, sayısal yükseklik modeli, 3B Nokta bulutu.

## Detection and Assessment of Open-Pit Mining Sites Using UAV Technology

\*Corresponding Author:  
dogafidan.61@gmail.com

### Research Article

**Citation:** Önal, G., Fidan, D., & Ulvi, A. (2024). Detection and Assessment of Open-Pit Mining Sites Using UAV Technology. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 31-38 (in Turkish).

Received : 15.11.2024  
Revised : 24.11.2024  
Accepted : 27.11.2024  
Published : 31.12.2024

### Abstract

Around the world, the mining industry is engaged in an initiative to monitor mining sites, assess the overall situation and regulate mining activities. In Turkey, coal mining continues to play an important role in the national economy and the coal mining sector has a strategic importance for increasing domestic energy production. New technologies offer important tools to precisely monitor changes in mines, assess environmental impacts and optimize production processes. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in open pit mining can provide effective guidance on digital representation of mines, production planning and production management. In this study, orthophotos, digital elevation models and three-dimensional (3D) dense point clouds were obtained by UAV photogrammetry for an open pit coal mine site in Kepsut district of Balıkesir province. The accuracy of the final products was calculated by using 8 verification points determined by ground measurements at the mine site.

**Keywords:** Mine field, UAV, orthophoto, digital elevation model, 3D Point cloud.

## 1. Giriş

Türkiye zengin yer altı kaynaklarına sahip bir ülkedir ve madencilik sektörü, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır [1]. Ülkemiz coğrafyası hem endüstriyel ham maddeler hem de enerji üretimi için kullanılan mineral ve madenler bakımından geniş bir çeşitliliğe sahip olmakla beraber açık maden ocakları, inşaat sektörü ve sanayi alanlarında kullanılan önemli hammadde kaynaklarıdır [2-4].

Türkiye, kömür madenciliği açısından önemli bir potansiyele sahip bir ülkedir. Kömür madenciliği, Türkiye’de hem enerji üretimi hem de istihdam açısından önemli bir sektör olsa da madenlerin çevresel etkileri nedeniyle zaman zaman eleştirilmektedir [1, 5, 6, 31]. Kömür madeni ocaklarında çalışan işçilerin güvenliği, çevresel kirlilik ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesi gibi sorunlar, kömür madeni sektörünün karşılaştığı başlıca zorluklardandır [7, 8].

Maden ocakları buldukları çevrenin bitki örtüsü, toprak yapısı ve su dengesi üzerindeki ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dünyada, madenlerden sorumlu yöneticiler, maden sahalarının gelişimini ve durumunu izleyerek ve değerlendirerek madencilik faaliyetlerini düzenleme çabası içine girmiştir [1]. Bu kapsamda açık ocak madenlerindeki durum değişimlerinin tespitiyle ilgili yapılan güncel araştırmalar, ekolojik koruma, çevresel koruma sürdürülebilirlik ve kalkınma açısından büyük bir öneme sahiptir [2].

Kepsut ve Dursunbey (Balıkesir) havzalarındaki Erken Miyosen yaşlı görsel birimlerde bulunan ekonomik kömür damarları ve Kepsut Havzasında İsaalan köyünde yer alan alt-bitümlü kömür sahası da açık ocak madenlerine birer örnek teşkil etmektedir [9].

Teknolojinin hızla gelişimi ve bilgisayar işlem gücündeki iyileşmeler, açık ocak madenlerinin izlenmesinde uzaktan algılama görüntülerinin daha etkin ve yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır [10, 11]. Yeni teknolojiler, maden sahalarının zaman içindeki değişimlerini hassas bir şekilde gözlemek, çevresel etkilerini değerlendirmek ve üretim süreçlerini optimize etmek için önemli araçlar sunmaktadır [8]. Ayrıca, uzaktan algılama görüntüleri, geniş alanlarda hızlı veri toplama imkânı sağlayarak, araştırmacılara, geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyetli ve daha verimli bir izleme süreci sunmaktadır [5, 12]. Bu nedenle, açık ocak madenlerinin yönetimi ve çevresel izleme çalışmalarında uzaktan algılama teknolojileri günden güne daha fazla tercih edilmektedir [10].

Madencilikte insansız hava aracı (İHA) kullanımı maden sahalarının coğrafi yapısının düzenli olarak izlenmesi, maden sahasının çevreye olan etkisinin gözlemlenmesi, çıkartılacak cevherin yerinin belirlenmesi, madenin genişlemesi veya yeni alanların

keşfi için önemlidir [8, 11, 13]. İHA’lar, bu haritalamayı hızlı ve hassas bir şekilde yaparak, işletme süreçlerini hızlandırmaktadır [14]. Maden işletmeciliği, zorlu ve geniş alanlarda gerçekleştirilen, büyük yatırımlar ve emek gerektiren bir sektör olduğundan İHA’lar, maden sahalarında verimliliği artırmak, güvenliği sağlamak ve zor süreçleri optimize etmede önemli bir rol oynamaktadır [8]. Madencilik sektöründe, iş güvenliği çok büyük bir öneme sahip olduğundan, İHA’lar, bu tehlikeli bölgelerde personelin iş riski değerini azaltarak güvenliğini arttırmaktadır [2]. İHA’lar maden işletmelerinde daha doğru ve zamanında kararlar almayı ve sürdürülebilirlik adına adımlar atma süreçlerinin kolaylaşmasını sağlamaktadır [3, 10, 15].

İHA’lar kullanılarak açık ocak maden alanlarının üç boyutlu (3B) haritalanması ve izlenmesi ve İHA’ların performansının değerlendirilmesi ile ilgili olarak son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kang vd., Açık kireçtaşı maden ocağında 3B modelleme yapmak için döner kanatlı bir İHA’nın kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [16]. Battulwar vd., büyük yüzey madenleri için 3B modeller oluşturmada İHA’ları kullanmış, 3B modeller ve yüksek çözünürlüklü haritalar oluşturmak için düşük maliyetli İHA’nın kullanımı üzerine araştırmalar yapmıştır [17]. McLeod vd., İHA’dan elde edilen video görüntülerini kullanarak açık ocaklı madendeki çatlak yöneliminin tespit edilmesi üzerine çalışmıştır [18]. Wang vd., Çin Pekin’deki açık ocaklı bir madenin yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (HTYA) yöntemini kullanarak elde ettikleri sayısal yükseklik modeli (SYM) verisi üzerinden jeomorfolojik özellikleri değerlendirmiştir [19]. Gil ve Frackiewicz, Açık maden ocağının SYM verisi üzerinden mekânsal sorgusu ve değerlendirmesini Quantum GIS yazılımı kullanarak gerçekleştirmiştir [8]. Bunun yanında Beretta vd., İHA’ların kullanımı ile elde edilen SYM’nin doğruluğunu kontrol etmek için diğer geleneksel yöntemleri kullanmış, fotogrametrik yöntemle elde edilen SYM’nin hassasiyetini analiz etmiştir [20]. Tong vd. Güneybatı Çin’deki açık maden ocak alanlarının eğimli yamaçların hassas 3B modellemesi için İHA tabanlı fotogrametri ve lazer tarama sistemlerinin entegrasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır [14].

Bu çalışmada uygulama alanı olarak Balıkesir ili Kepsut ilçesinde yer alan açık kömür maden ocağı belirlenmiştir. Maden ocağında İHA fotogrametrisi yöntemi kullanılarak fotoğraflar elde edilmiştir. Ofis çalışmalarında fotoğrafların dengelemesi yapılmış ardından 3B yoğun nokta bulutu, ortomozaik, ve sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Maden sahasından yersel ölçme teknikleriyle elde edilen koordinatlar kullanılarak, ürünlerin karesel ortalama hata değeri hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, modelleme sürecinde kullanılan materyaller ve yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada veri toplama süreci için Dji Phantom 4 Pro v2.0 İHA kullanılmıştır. Fotoğrafların işlenmesi ve 3B model elde edilmesi aşamasında Agisoft Metashape yazılımı kullanılmıştır. Sayısal halihazır harita üretiminde Netcad yazılımı kullanılmıştır.

### 2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

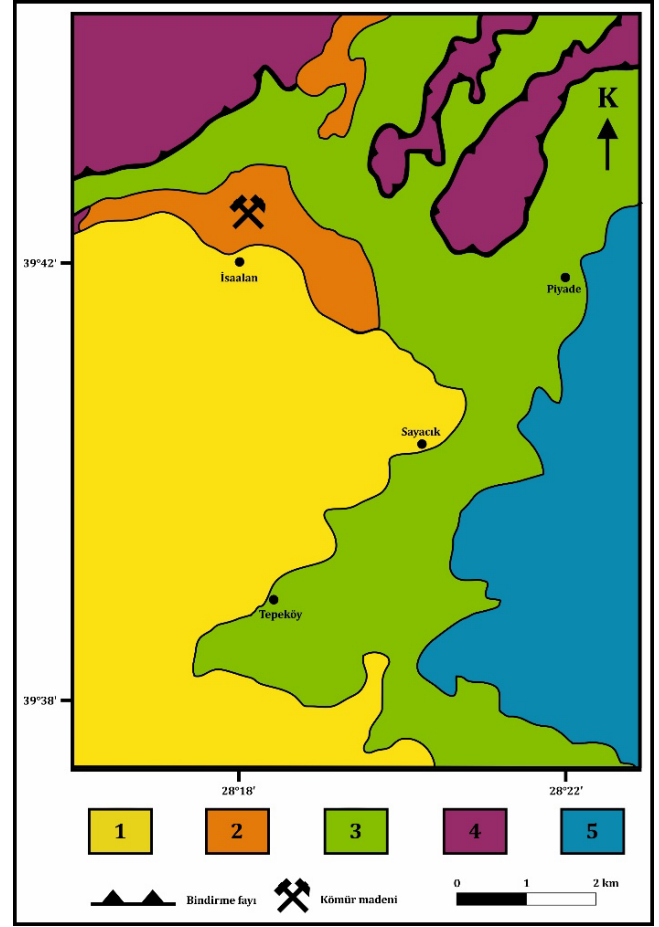
Balıkesir ili Kepsut ilçesi İsaalanı köyündeki çalışma alanı; Batı Anadolu Volkanik Bölgesi içinde yer almakta olup Kepsut Volkanik Kompleksi olarak bilinen volkanik kayalar içermektedir [21]. Bu volkanik kayalar; bazaltik andezit, andezit ve dasit-riyolit bileşimli lavlar ile bunlarla ilişkili piroklastik kayalardan oluşur. Bazaltik andezit ve andezit bileşimli lavların çıkış merkezi Eyüpbükü civarında bir strato-volkan olarak tanımlanmaktadır [22]. Dasit-riyolit lav akıntıları ise bu strato-volkanın çevresinde KB-GD ve KD-GB doğrultusunda dizilen kırık erüpsiyonlarıyla oluşmuş domlarla ilişkilidir. Kepsut volkanitleri; pliniyen-sub pliniyen türünde patlamalarla meydana gelmiştir [22].

Çalışma alanında çökel topluluk olarak adlandırılan ve geniş yüzeylemelere sahip kayalar, Batı Anadolu'da yaygın olan Soma Formasyonu [23] ile denştirilmektedir. Bu birim; kumtaşı, bitümlü şeyl, marn, mikrokonglomera, konglomera ve kireçtaşı içermektedir. Birimin üst kısımlarında tüfitler ve silisleşmiş tüflerin ardalanması görülmekte ve ekonomik değere sahip işletilen linyit damarları da bulunmaktadır. Çökel topluluğun litolojik özellikleri en iyi İsaalan Köyü civarında gözlemlenmektedir. Birimin alt seviyeleri kömür içeren bitümlü şeyllerden oluşmakta; yukarıya doğru sarımsı yeşil renkli, ince taneli şeyl-marn ve kireçtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Kireçtaşı mostraları açık krem renkli ve gevşek yapıda olup, borat oluşumlarına da yer yer rastlanmaktadır. Üst seviyeler ise gri, ince taneli kumtaşı ve siltaşı ile temsil edilmektedir [22] (Şekil 1).

Açık ocak maden sahasındaki kömürler; alt bitümlü kömür derecesinde olup limnik zonun açık su alanları ile kısmen sulu orman bataklığında oluşmuşlardır [24].

Balıkesir'in kuzeydoğusundaki Kepsut kasabası yakınlarında yer alan ve on yıllardır yüzey madenciliğiyle çıkarılan İsaalan kömür yatağında birçok volkanik ve bölgesel tektonik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup bu veriler; Kuzeybatı Türkiye'deki diğer yataklara göre çalışılan yatağın daha küçük olduğuna işaret etmektedir [25]. İsaalan kömür sahasında petrografik, mineralojik ve

jeokimyasal özelliklerin belirlendiği bu çalışmalarda; element dağılımları ve özellikle As (Arsenik) gibi elementlerin zenginleşmesini kontrol eden faktörler ortaya konmaktadır.



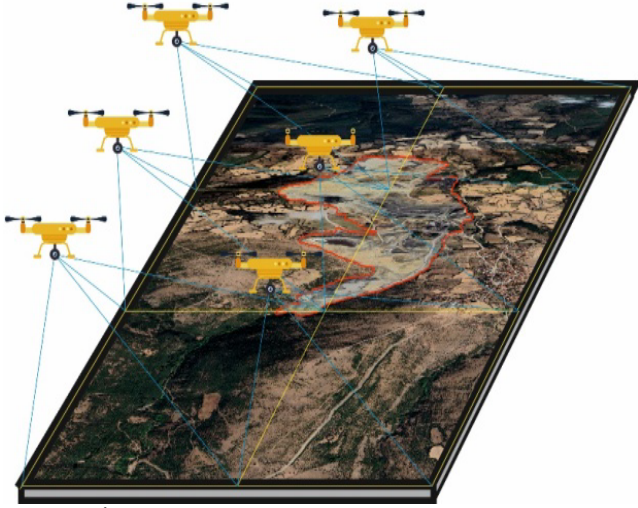
**Şekil 1.** İsaalan kömür yatağı çevresinin jeoloji haritası [1) Pliosen-Miyosen yaşlı aglomera ve bazalt, 2) Miyosen yaşlı karasal-gösel tortullar, 3) Kretase Yayla Melanjı, 4) Permiyen-Triyas Karakaya Kompleksi, 5) Mesozoyik mermerler].

### 2.2. Fotogrametri

Fotogrametri, fotoğrafik görüntülerdeki elektromanyetik radyasyonun kaydedilmesi, ölçülmesi ve analiz edilmesiyle fiziksel nesnelere ve çevresel koşullar hakkında doğru ve güvenilir bilgiler elde etmeyi amaçlayan bir bilim ve teknolojidir [11]. Fotogrametri, stereoskopik görüntüleme prensibine dayanmaktadır. Birbirini tamamlayan birden fazla fotoğrafın kullanımıyla, yüzeylerin derinliği ve konumu belirlenmektedir [2]. Stereoskopik görüntüleme, eşleşen noktalardan yararlanarak, her iki görüntüdeki iki boyutlu (2B) koordinatları kullanarak 3B uzaydaki konumları hesaplamak için temel bir yöntemdir (Şekil 2)

Bu süreçte, özellikle bağlantılı fotoğraflar arasındaki örtüşme oranı, modelin doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir [15]. Yüksek örtüşme oranı, daha fazla ortak nokta elde edilmesini

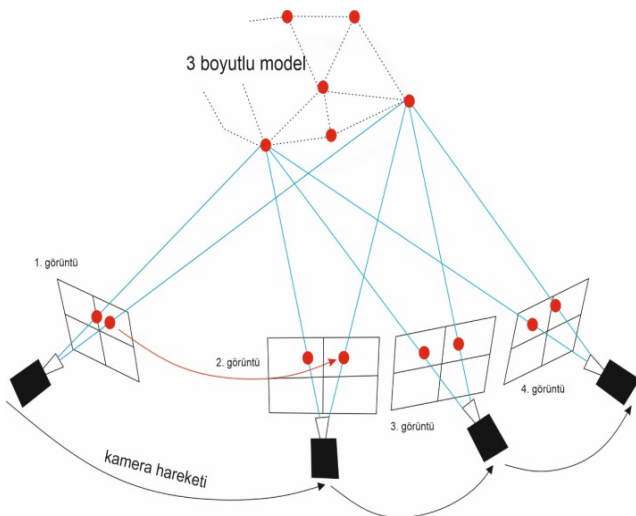
sağlamakta ve modelin daha doğru bir şekilde oluşturulmasına olanak tanımaktadır [11]. Fotogrametri yer yüzeyindeki nesnelere ve yapılar üzerinde yapılan detaylı ölçümlerde, küçük objelerin 3B modellenmesinde, inşaat, mimari projeler ve arkeolojik kazılarda, büyük alanların hızlı bir şekilde haritalanması, arazi analizleri, 3B modelleme, şehir planlama gibi büyük ölçekli projelerde, ayrıca çevre izleme, tarım ve arkeoloji ve maden alanında sıklıkla kullanılmaktadır [2].



Şekil 2. İHA fotogrametrisi.

### 2.3. Hareket Tabanlı Yapısal Algılama

Hareket tabanlı yapısal algılama, yerel ardışık 2B görüntü dizilerinden 3B yapıların tahmin edilmesini sağlayan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir [26]. Bu yöntem, temelde, farklı kamera pozisyonlarından elde edilen ve belirli ortak noktalara sahip olan görüntüler arasındaki eşleşen noktaları kullanmaktadır [11] (Şekil 3).

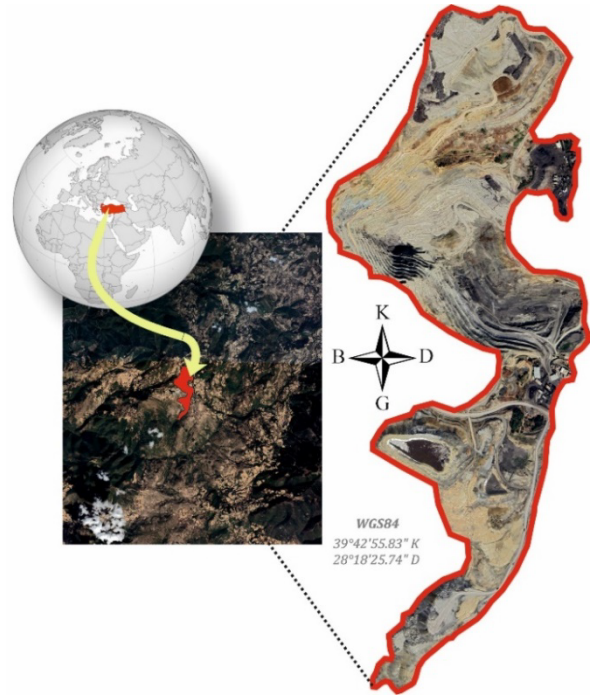


Şekil 3. Kameranın hareketi ve ortak noktalar.

Bu süreçte, birbirini takip eden fotoğraflar arasındaki örtüşen özellikler (örneğin, kenarlar, köşe noktaları veya objeye özgün desenler) kullanılarak, gerçek dünyaya ait objelerin yüzeylerinin 3B modelinin elde edilebilmektedir [26-28]. HTYA, geleneksel fotogrametrik yöntemlere kıyasla daha esnek bir yaklaşım sağlamaktadır. Çünkü bu teknik, kamera sisteminin hareketli olduğu bir durumda bile uygulanabilmektedir [29].

### 2.4. Uygulama Sahası

Çalışmanın uygulama alanı, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde yer alan Balıkesir il sınırlarında bulunan Kepsut ilçesindeki açık ocak kömür madeni sahasıdır (Şekil 4). Maden ocağı, Balıkesir il merkezinin yaklaşık 50 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Maden ocağı alanı topoğrafyası genel olarak dalgalı ve dağlık bir araziden oluşmakla birlikte bölgedeki yükseklikler 500 ile 1000 metre arasında değişmektedir. Bu dağlık alanlar, bölgedeki su akışlarını ve ekosistemleri şekillendirirken, aynı zamanda yer altı kaynaklarının varlığına da işaret etmektedir. Ayrıca, Kepsut'un çeşitli dereleri ve çayları, bölgedeki bitki örtüsünü besleyen su kaynaklarıdır. Bu da açık kömür madenciliği faaliyetlerinde su yönetimi açısından önemli bir faktör oluşturmaktadır.



Şekil 4. Uygulama sahası.

Çalışmanın arazi aşamasında fotoğrafların çekilmesinde DJI Phantom 4 Pro v2.0 marka ve model İHA kullanılmıştır (Şekil 5). Kullanılan İHA'nın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.





Şekil 5. DJI Phantom 4 Pro v2.0.

Tablo 1. DJI Phantom 4 Pro v2.0 teknik özellikleri.

| Özellik               | Açıklama                     |
|-----------------------|------------------------------|
| Kamera Çözünürlüğü    | 20 MP (maksimum çözünürlüğü) |
| Sensör Tipi           | 1" CMOS sensör               |
| Lens                  | 8.8 mm – 24 mm               |
| Video Çözünürlüğü     | 4K (4096 x 2160)             |
| Enstantane Hızı       | 8s - 1/2000s                 |
| Video Bit Rate        | 100 Mbps                     |
| Ekran                 | 5.5" 1080p Full HD ekran     |
| Motorlar              | 4 adet                       |
| Maksimum Uçuş Süresi  | 30 dakika (yeni batarya ile) |
| Maks. Hız             | 72 km/s (45 mph)             |
| Maks. Uçuş Yüksekliği | 6000 m (deniz seviyesinden)  |
| Pil Kapasitesi        | 5870 mAh LiPo                |
| Pil Şarj Süresi       | 1.5 saat (normal şarj)       |
| Maks. Rüzgar Direnci  | 10 m/s (36 km/s)             |
| GPS + GLONASS         | Destekli                     |

## 2.5. Veri Toplama

Yer kontrol noktaları (YKN), arazide bilinen koordinatlara sahip ve ölçümde referans olarak kullanılan noktalardır. İHA ile yapılan fotogrametrik ölçümlerde, YKN kritik bir rol oynamaktadır. YKN, genellikle arazide sabitlenen, fiziksel işaretler veya doğal objeler olabilmektedir. YKN sayısı, ölçüm yapılacak alanın büyüklüğüne ve modelin karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir. YKN arazide kolaylıkla tespit edilebilmeli ve uygun boyutlarda seçilmelidir. Fazla sayıda YKN kullanımı, modelin doğruluğunu artırırken, aynı zamanda dengeleme işleminin başarısını da güçlendirmektedir. YKN'nin arazi topoğrafyası, görüş açısı ve GPS doğruluğu gibi faktörlere göre stratejik olarak seçilmesi, elde edilecek ürünlerin hassasiyetini doğrudan etkilemektedir.

Veri toplama süreci, açık ocak kömür madeni sahasında yapılan uçuşlar ile gerçekleştirilmiştir. Uçuş süresi toplamda 60 dakika sürmüştür. İHA, sahadaki belirlenen rotalar üzerinden otomatik olarak uçurulmuştur. Çekilen fotoğrafların, her birinin diğer

fotoğraflarda en az %60-70 örtüşmeye sahip olacak şekilde çekilmesi sağlanmıştır. Bu örtüşme oranı, modelin doğruluğu için önemli bir faktördür. İHA ile yapılan uçuşlar sırasında, sahadaki farklı yüksekliklerden ve çeşitli açılardan fotoğraflar çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların arasından, yüzeydeki önemli detayların, eğimlerin ve yapısal unsurların net bir şekilde gösteren 381 adet fotoğraf dikkatle seçilmiştir. Bu çalışmada 4 adet YKN kullanılmıştır. YKN konumları Şekil 6'da YKN koordinat değerleri ise Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 6. YKN arazi üzerindeki konumları.

Tablo 2. YKN koordinat değerleri.

| Nokta Adı | X          | Y           | Z (Elipsoidal) | Z (Ortometrik) |
|-----------|------------|-------------|----------------|----------------|
| P.1       | 612056.515 | 4398214.129 | 557.966        | 539.240        |
| P.2       | 612180.963 | 4397961.406 | 552.086        | 513.360        |
| P.3       | 611980.889 | 4397759.268 | 520.693        | 481.967        |
| P.4       | 612118.357 | 4397549.327 | 497.177        | 458.451        |

## 2.6. Ofis Çalışmaları

Fotogrametrik değerlendirme aşamasında ilk adımda çekilen fotoğraflar sıralanmıştır. Ardından fotoğrafların dengelemesi adımına geçilmiştir. Sahada ölçümü yapılan YKN yazılımında ilgili fotoğraflar üzerinde işaretlenmiştir. Bu sayede yer koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasında bağlantı kurulmuştur. Elde edilen yoğun nokta bulutu 209 milyon noktadan oluşmaktadır. Elde edilen sayısal yükseklik modelinin yer örnekleme aralığı değeri 11 cm/piksel, elde edilen ortofotonun yer örnekleme aralığı değeri ise 5.52 cm/piksel olarak elde edilmiştir. Ek olarak elde edilen ortofotodan maden ocak sahasının hâlihazır haritası çizilmiştir. Çizim işlemi Neticad yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

**Tablo 3.** Doğrulama noktalarının (DN) konum hataları.

| Nokta Adı      | V <sub>x</sub> | V <sub>y</sub> | V <sub>z</sub> | V <sub>x</sub> V <sub>x</sub> | V <sub>y</sub> V <sub>y</sub> | V <sub>z</sub> V <sub>z</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| DN.1           | 2,31           | 3,48           | -1,39          | 5,34                          | 12,11                         | 1,93                          |
| DN.2           | 1,33           | 0,98           | 2,41           | 1,77                          | 0,96                          | 5,81                          |
| DN.3           | 2,88           | 3,55           | 2,16           | 8,29                          | 12,60                         | 4,67                          |
| DN.4           | 2,23           | 3,41           | -1,45          | 4,97                          | 11,63                         | 2,10                          |
| DN.5           | 0,93           | 1,74           | -4,08          | 0,86                          | 3,03                          | 16,65                         |
| DN.6           | 1,94           | 1,48           | 3,35           | 3,76                          | 2,19                          | 11,22                         |
| DN.7           | 0,86           | -0,23          | -2,22          | 0,74                          | 0,05                          | 4,93                          |
| DN.8           | 1,66           | 1,81           | 2,39           | 2,76                          | 3,28                          | 5,71                          |
| KOH (X,Y,Z) cm |                |                |                | 2,02                          | 2,56                          | 2,75                          |

$$KOH_{x,y,z} = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (2)$$

Denklemlerde;  $V_{x,y,z}$  noktaların konumsal farkları,  $X, Y, Z_{GNSS}$  yersel ölçümlerle elde edilen koordinatları,  $X, Y, Z_{İHA}$  fotogrametri yöntemiyle elde edilen koordinatları,  $KOH_{x,y,z}$  ise karesel ortalama hatayı temsil etmektedir.

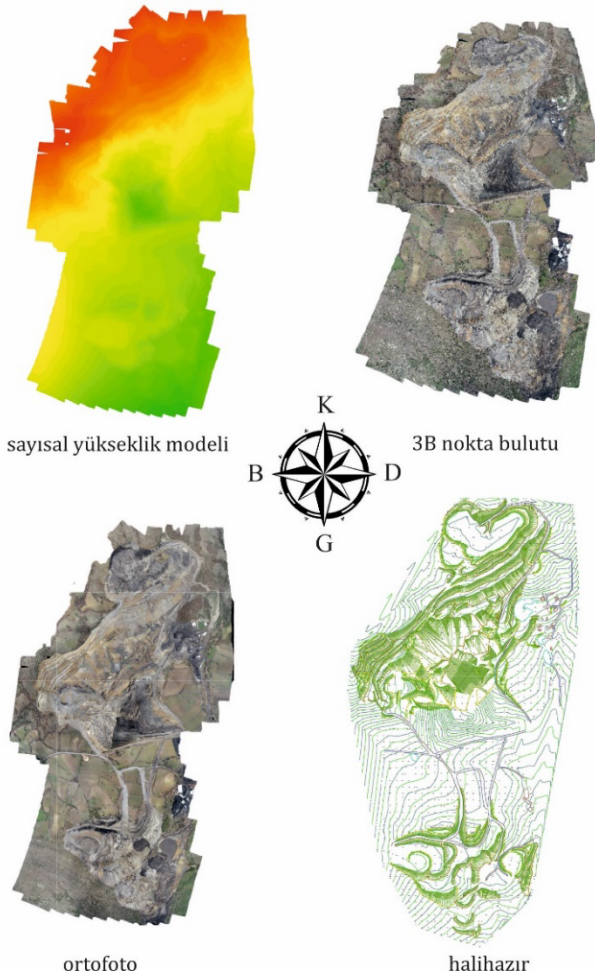
### 3. Sonuçlar

Balıkesir Kepsut'taki bir açık ocak kömür madeni sahasında İHA fotogrametrisi yöntemiyle ortofoto, dijital yükseklik modeli ve 3B yoğun nokta bulutu ve halihazır elde edilmiş olup doğruluk, yersel yöntemler ile belirlenen 8 doğrulama noktası kullanılarak hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata üç eksen de yaklaşık olarak 2 cm hassasiyetinde tespit edilmiştir.

Madencilikte İHA'ların kullanımı, geleneksel yöntemlerle yapılan denetim, izleme ve haritalama faaliyetlerine kıyasla önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlamaktadır. İHA'lar maden sahalarında büyük alanları izlemek için gerekli olan insan ve ekipman gücü ihtiyacını azaltarak esneklik arttırmakta, iş maliyetlerini ve iş gücünü optimize etmektedir. Ayrıca maden sahalarındaki tehlikeli alanları izlemek için kullanılan İHA'lar, işçilerin riskli bölgelerde çalışmalarını engelleyerek ulaşılması güç sahalarda bile daha düşük iş riski sağlamakta ve güvenliği arttırmaktadır. Çalışmanın sonuçları İHA'ların maden sahalarında kısa sürelerde hassas ölçümler yapabileceğini kanıtlamaktadır.

### Yazarların Katkısı

Güzide Önal: Yazılım, Saha Çalışması;  
Doğa Fidan: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Yazılım, Yazım;  
Ali Ulvi: Kontrol, Analiz, Yazım.

**Şekil 7.** Elde edilen ürünler.

Elde edilen modelin hassasiyeti, maden sahasında tespit edilen 8 adet referans doğrulama noktası (DN) ile analiz edilerek hata değeri hesaplanmıştır. Doğrulama noktalarının koordinat değerleri, GPS cihazlarıyla elde edilmiştir. Bu süreçte, X, Y ve Z eksenleri için karesel ortalama hata hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu doğrulama süreci, fotogrametrik modelin yerel yüzey özelliklerini ne kadar doğru bir şekilde yansıttığını belirlemek için önemlidir.

$$V_{x,y,z} = X, Y, Z_{YERSEL} - X, Y, Z_{İHA} \quad (1)$$

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

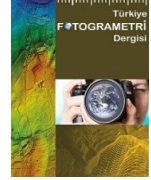
- [1] Yaşar, S., İnal, S., Yaşar, Ö., & Kaya, S. (2015). Türkiye’de meydana gelen maden kazalarının istatistiksel olarak incelenmesi. *Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 21–22.
- [2] Ulvi, A. (2021). Documentation, three-dimensional (3D) modelling and visualization of cultural heritage by using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994–2021. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1882594>
- [3] Kabadayı, A. (2022). Açık maden ocağında hacim hesabı için GNSS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 52–57. <https://doi.org/10.51534/tiha.1179910>
- [4] Atıcı, A., Paksoy, M. F., & Kabadayı, A. (2024). Maden sahalarındaki stok miktarının İHA yardımıyla belirlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 8–13. <https://doi.org/10.53030/tufod.1489122>
- [5] MTA Genel Müdürlüğü. (2018). Dünyada ve Türkiye’de doğal taşlar.
- [6] Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., & Hu, Z. (2019). A review of UAV monitoring in mining areas: Current status and future perspectives. *International Journal of Coal Science & Technology*, 6, 320–333. <https://doi.org/10.1007/s40789-019-00265-7>
- [7] Aktaş, M. (2011). Türkiye’de kömür madenciliği ve enerjideki rolü. *Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2011 Yılı Raporu*.
- [8] Gil, M., & Fraçkiewicz, P. (2019). Optimization of the location of observation network points in open-pit mining’s.
- [9] Bircan, C., Oskay, R. G., Karayiğit, A. İ., & Türkmen, İ. (2023). Kepsut ve Dursunbey (Balıkesir) havzalarındaki Soma Formasyonu içindeki Erken Miyosen yaşlı kömür damarlarının hidrokarbon türetme potansiyellerinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 10–14 Nisan 2023, Ankara.
- [10] Cao, D., Zhang, B., Zhang, X., Yin, L., & Man, X. (2023). Optimization methods on dynamic monitoring of mineral reserves for open pit mine based on UAV oblique photogrammetry. *Measurement*, 207, 112364. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112364>
- [11] Kabadayı, A. (2022). Maden sahasının insansız hava aracı yardımıyla fotogrametrik yöntemle haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19–23. <https://doi.org/10.51534/tiha.1130929>
- [12] Oruç, M. E., & Ulvi, A. (2023). Maden sahalarındaki deformasyonların İHA’lar ile izlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 43–57.
- [13] Yang, Q., Tang, F., Wang, F., Tang, J., Fan, Z., Ma, T., ... & Xue, J. (2023). A new technical pathway for extracting high accuracy surface deformation information in coal mining areas using UAV LiDAR data: An example from the Yushen mining area in western China. *Measurement*, 218, 113220. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113220>
- [14] Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., ... & Hong, Z. (2015). Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing*, 7(6), 6635–6662. <https://doi.org/10.3390/rs70606635>
- [15] 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.
- [16] Kang, S., Lee, G. J., Noh, J., Jang, H. D., Kim, S. M., & Ko, C. S. (2018). 3-dimensional modeling and mining analysis for open-pit limestone mine stope using a rotary-wing unmanned aerial vehicle. *The Journal of Engineering Geology*, 28, 701–714.
- [17] Battulwar, R., Winkelmaier, G., Valencia, J., Naghadehi, M. Z., Peik, B., Abbasi, B., ... & Sattarvand, J. (2020). A practical methodology for generating high-resolution 3D models of open-pit slopes using UAVs: Flight path planning and optimization. *Remote Sensing*, 12(14), 2283. <https://doi.org/10.3390/rs12142283>
- [18] McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., ... & Elder, J. H. (2013). Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. *Geomatica*, 67(3), 173–180.

- [19] Wang, J., Wang, L., Jia, M., He, Z., & Bi, L. (2020). Construction and optimization method of the open-pit mine DEM based on the oblique photogrammetry generated DSM. *Measurement*, 152, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107322>
- [20] Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., Peroni, R. D. L., Azambuja, J., & Costa, J. F. C. L. (2018). Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. *REM-International Engineering Journal*, 71(3), 463–470. <https://doi.org/10.1590/0370-44672018710070>
- [21] Kamacı, Ö., & Altunkaynak, Ş. (2019). Magma chamber processes and dynamics beneath northwestern Anatolia: Insights from mineral chemistry and crystal size distributions (CSDs) of the Kepsut volcanic complex (NW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2019.103884>
- [22] Yarar, O. S. (2012). Kepsut Volkaniklerinin jeolojisi ve petrojisi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [23] Nebert, K. (1978). Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, 90, 20–70.
- [24] Bircan, C., & Türkmen, İ. (2016). Soma Formasyonu'nun İsaalan (Kepsut-Balıkesir) yöresindeki yüzeylemelerinin stratigrafisi ve sedimentolojisi. 69. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 11–15 Nisan 2016, Ankara, 564–565.
- [25] Karayığit, A. İ., Bircan, C., Mastelers, M., Oskay, R. G., Querol, X., Lieberman, N. R., & Türkmen, İ. (2017). Coal characteristics, elemental composition and modes of occurrence of some elements in the İsaalan coal (Balıkesir, NW Turkey). *International Journal of Coal Geology*, 172, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.01.001>
- [26] Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2024). Açık maden ocağındaki stok/pasa yığınının hacim hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 7–20.
- [27] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022). İHA fotogrametrisi kullanarak kadastrada binaların konum doğruluğunun incelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 66–72. <https://doi.org/10.53030/tufod.1211902>
- [28] Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35–40.
- [29] Dang, T. M., & Nguyen, B. D. (2023). Applications of UAVs in mine industry: A scoping review. *Journal of Sustainable Mining*. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2023.04.001>
- [30] Yurtoğlu, N. (2016). Türkiye'de Zonguldak-Ereğli kömür havzasının yapısal analizi (1920–1960). *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 16(33), 211–256.
- [31] MTA. (2002). *Geological Map of Turkey-İzmir Sheet*. MTA Publication, Ankara.



© Author(s) 2024.

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



# İHA Fotogrametrisi Kullanarak Tarihi Alanların Üç Boyutlu Belgelenmesi: Soli Pompeiopolis Antik Kenti Örneği

Elif Haksun Karakaya<sup>1\*</sup>, Ali Ulvi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (haksunkarakaya@gmail.com; aliulvi@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
haksunkarakaya@gmail.com

## Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Karakaya, H. E., & Ulvi, A. (2024). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Tarihi Alanların Üç Boyutlu Belgelenmesi: Soli Pompeiopolis Antik Kenti Örneği, 6(2), 39-47.

Geliş : 05.11.2024  
Revize : 27.11.2024  
Kabul : 29.11.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

## Özet

Bu çalışma, Mersin'in Soli Pompeiopolis antik kentinde yer alan tarihi sütunlu caddenin üç boyutlu (3B) modellemesini gerçekleştirerek, kültürel miras alanlarının dijital belgelenmesinde İHA fotogrametrisi ve dijital modelleme tekniklerinin etkinliğini incelemektedir. İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılarak gerçekleştirilen fotogrametrik modelleme ile yüksek hassasiyette bindirmeli fotoğraflar toplanmış; Agisoft Metashape yazılımında nokta bulutu ve yüzey dokusu oluşturulmuştur. Ardından SketchUp yazılımında sütunların detaylı vektörel modelleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, sütunlu caddenin mimari detaylarının yüksek doğrulukta dijital kayıt altına alındığı ve bu modellerin restorasyon, koruma ve akademik araştırmalar için stratejik bir kaynak sunduğu görülmüştür. Dijital kayıtların kültürel mirasın korunması, erişilebilirliğinin artırılması ve sürdürülebilir yönetimi açısından önemli katkılar sunduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemlerin, dünya genelinde kültürel miras alanlarının korunmasında yaygın olarak kullanılabilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA fotogrametrisi, üç boyutlu modelleme, kültürel miras, dijital belgeleme, Soli Pompeiopolis.

## Three-Dimensional Documentation of Historical Sites Using UAV Photogrammetry: The Case of Soli Pompeiopolis Ancient City

\*Corresponding Author:  
haksunkarakaya@gmail.com

## Research Article

**Citation:** Karakaya, H. E., & Ulvi, A. (2024). Three-Dimensional Documentation of Historical Sites Using UAV Photogrammetry: The Case of Soli Pompeiopolis Ancient City. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 39-47 (in Turkish).

Received : 05.11.2024  
Revised : 27.11.2024  
Accepted : 29.11.2024  
Published : 31.12.2024

## Abstract

This study examines the effectiveness of UAV photogrammetry and digital modelling techniques in the digital documentation of cultural heritage sites by performing three-dimensional (3D) modelling of the historical colonnaded street in the ancient city of Soli Pompeiopolis in Mersin. With photogrammetric modelling using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), high-precision overlay photographs were collected; point cloud and surface texture were created in Agisoft Metashape software. Then, detailed vector models of the columns were obtained in SketchUp software. As a result of the study, it was observed that the architectural details of the colonnaded street were digitally recorded with high accuracy and these models provide a strategic resource for restoration, conservation and academic research. It has been determined that digital records make important contributions to the protection, accessibility and sustainable management of cultural heritage. It is suggested that these methods can be widely used in the conservation of cultural heritage sites worldwides.

**Keywords:** UAV photogrammetry, three-dimensional modelling, cultural heritage, digital documentation, Soli Pompeiopolis.

## 1. Giriş

İnsan İnsanlık, tarih boyunca kültürel değerler, yapılar ve kalıntılar aracılığıyla geçmişten günümüze zengin bir miras bırakmıştır. Bu kültürel ve tarihi miras, geçmiş medeniyetlerin izlerini taşıyarak modern toplumlara aktarılmakta ve insanlığın ortak hafızasını oluşturmaktadır [1, 2]. Tarihi alanlar, yalnızca fiziksel yapılar olmaktan öte, bir toplumun kültürel ve sosyal dokusunu, değerlerini, geleneklerini ve yaşam biçimini yansıtan, geçmişle günümüz arasındaki bağı kuran önemli izlerdir. Bu alanlar, insanlığın tarih boyunca oluşturduğu bilgi ve birikimi geleceğe taşıyarak kültürel sürekliliği sağlamada tartışmasız bir öneme sahiptir [3]. Geçmiş medeniyetlerin somut kanıtları olarak karşımıza çıkan tarihi yapılar, bu nedenle korunmalı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmelidir; zira bu yapıların kaybı, yalnızca fiziksel varlıkların değil aynı zamanda bir toplumun hafızasının da silinmesi anlamına gelir [4]. Bu bağlamda, tarihi alanların belgelenmesi ve korunması, hem gelecek nesillere aktarılacak kültürel bir miras bırakmak hem de tarihsel sürekliliği sağlamak adına son derece önemlidir [5].

Tarihi mirasın korunması ve aktarılması sürecinde belgeleme, önemli bir aşama olarak karşımıza çıkar. Belgeleme, bir yapının ya da alanın fiziksel özelliklerinin kaydedilmesinin ötesinde, tarihi yapıların kültürel ve tarihsel bağlamda da incelenmesini sağlar. Bu süreç, kültürel mirasın korunması, arkeolojik kazılarda bilgi temini, turizm ve kültür tanıtımlarında tanıtım materyalleri sağlama, restorasyon ve koruma projelerine destek gibi pek çok alanda hayati bir rol oynar [1, 3, 6, 7]. Geleneksel belgeleme yöntemleri, çizimler, yazılı ve görsel dokümanlar, bilgi formları gibi farklı teknikler içermektedir [8]. Ancak, bu yöntemlerin kopyalanma riski, depolama ve koruma güçlükleri ve zamanla bozulma gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır [9].

Son yıllarda gelişen teknoloji, bu zorlukları aşmak amacıyla yenilikçi çözümler sunarak, belgeleme alanında modern tekniklerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Dijital teknolojiler sayesinde kültürel miras unsurları artık daha hassas, hızlı ve etkili bir şekilde belgelenmekte, bu da tarihi eserlerin gelecek kuşaklara sağlıklı bir şekilde aktarılmasına olanak tanımaktadır [4]. Günümüz teknolojileri, tarihi ve kültürel alanların üç boyutlu (3B) modellerini üretebilme kapasitesine sahiptir; bu durum, belgeleme sürecinde doğruluk, hassasiyet, veri güvenliği ve depolama açısından yeni olanaklar sunmaktadır. Üç boyutlu modeller, hem yapının gerçek zamanlı bir temsili olarak işlev görmekte hem de kültürel mirasın korunması ve tanıtılması açısından etkin bir araç oluşturmaktadır.

Bu bağlamda fotogrametri, tarihi ve kültürel varlıkların üç boyutlu dokümantasyonu için kullanılan ileri teknoloji yöntemlerinden biridir. Fotogrametrinin sunduğu yüksek çözünürlüklü ve detaylı veri sağlama imkânı, depolama sorunlarını azaltması ve doğruluğu artırması, bu yöntemi tarihi yapıların belgelenmesinde son derece etkili hale getirmektedir [10]. Üç boyutlu fotogrametrik modeller, yapıların detaylı bir temsili sunarak restorasyon, analiz ve koruma çalışmalarında önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Son yıllarda, İnsansız Hava Araçları (İHA) fotogrametrik çalışmalarla birleştirilerek üç boyutlu modelleme sürecine yeni bir hız ve doğruluk kazandırmıştır. İnsansız Hava Araçları (İHA'lar), maliyet ve zaman tasarrufu nedeniyle kültürel miras yapılarının modellenmesinde sıklıkla tercih edilmektedir [11, 12]. İHA'lar, insan müdahalesi olmaksızın uzaktan kontrol edilerek veri toplayabilme yeteneği sunan modern sistemlerdir. Fotogrametrik tekniklerle entegrasyonları, daha hızlı, güvenilir ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu özellikler, tarihi yapıların etraflıca belgelenmesini sağlarken erişim zorunluluğu olmayan, ulaşılması güç alanlardan bile veri toplama imkânı sunarak belgeleme sürecinde esneklik sağlamaktadır [5, 13]. İHA fotogrametrisi, yapıların detaylı ve hassas bir şekilde incelenmesine olanak tanırken, aynı zamanda zaman ve iş gücü açısından verimlilik sağlamakta, bu sayede daha geniş kapsamlı koruma ve restorasyon projelerinin hayata geçirilmesine katkı sunmaktadır.

Bilimsel literatürde, İHA'ların kullanımının tarihi miras hakkında kesin veriler sağladığı gösterilmiştir [14]. Kültürel öneme sahip alanların ve binaların belgelenmesi ve temsili, genellikle 3B yeniden yapılandırma oluşturmak için iki boyutlu (2B) görüntülerin kullanımını içerir [15, 16]. Hem ortofotolar hem de 3B modeller diğer Dijital Teknolojilerle (DT) entegre edilebilir [18]. Çok sayıda araştırmacı, kültürel mirasın korunmasıyla ilgili çabalarda İHA'ları Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve/veya Tarihi Bina Bilgi Modellemesi (HBIM) ile birleştirmiştir [19, 20]. Bu yalnızca geometrik verilerin yakalanmasını değil, aynı zamanda binanın bileşen malzemeleri ve tarihi geçmişi hakkında bilgi eklenmesini de içerir. Diğer çalışmalarda, dinamik analizler yapmak için 3B ve HBIM modellerinden Sonlu Elemanlar Modelleri (FEM) oluşturulmuştur [18]. Son olarak, son araştırmalar, tarihi binalardaki bilgilere erişimi artırmak için İHA sonuçlarını Sanal Gerçeklik ve Genişletilmiş Gerçeklik teknolojileriyle entegre etmiştir [21, 22]. Konu ile alakalı literatür incelendiğinde Ergün ve ark. 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada İHA fotogrametri yöntemi ile çekilen 418 adet fotoğraf ile LoD 0-1-2-3 seviyelerinde çizimler oluşturulmuştur. Ayrıca aynı LoD'de cephe

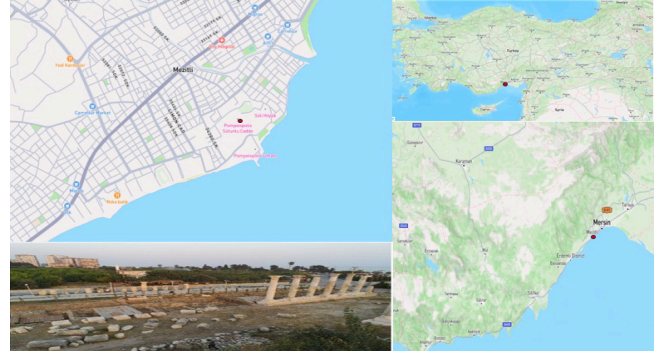
detayına ait konservatif ve İHA ölçümleri doğruluk açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, LoD3 standardında X, Y ve Z eksenleri için RMSE değerleri sırasıyla 1,394 cm, 0,861 cm ve 0,694 cm olarak hesaplanmıştır. İHA fotogrametri yöntemi kullanılarak kültürel yapıya ait yüksek doğruluklu LoD modellerinin istenilen doğrulukta üretilbileceği sonucuna varmışlardır [23]. Arslan ve Şekertekin 2024 yılında yaptıkları çalışmada kervansarayın çoklu görünüm açısından görüntülerinin alınmasını takiben, fotogrametrik yöntemler kullanılarak metrik 3B modeli üretilmişlerdir. X, Y, Z koordinatlarındaki Karesel ortalama Hataları (RMSE'ler), Yer Kontrol Noktaları (YKN'ler) ve karşılık gelen model koordinatlarına dayanarak hesaplamışlardır. X, Y, Z koordinatları için RMSE'ler sırasıyla 0,019 m, 0,025 m ve 0,033 m olarak hesaplamışlardır [24]. Stanga ve ark. 2023 yılındaki çalışmalarında Roma'daki Tor Fiscale Parkı'ndaki Claudius Anio Novus su kemerine odaklanarak arkeolojik kalıntıların tasvirini iyileştirmek için tarama-HBIM-XR işleminin ve insansız hava aracı (İHA) fotogrametrisinin kullanımını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda İHA fotogrametrisinin başarılı bir şekilde uygulanması, yapı arkeolojisinin temsilini geliştirme potansiyellerini göstermişlerdir [25].

Bu çalışma kapsamında, İHA fotogrametrisi ile tarihi sütunların üç boyutlu modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, tarihi yapıların fiziksel yapısını ve detaylarını dijital ortamda muhafaza ederek hem kültürel mirasın korunmasını hem de bu mirasın gelecek nesillere aktarılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Elde edilen 3B modeller, yalnızca görsel belgeler sunmakla kalmayıp aynı zamanda restorasyon, koruma ve kültürel tanıtım süreçlerinde stratejik bir araç olarak da işlev görmektedir.

## 2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Soli Pompeiopolis antik kenti, Mersin, Türkiye'de bulunmaktadır (Şekil 1). MÖ 700 yılları civarında Rodos adasından gelen Dorlar tarafından kurulan antik kent, Helenistik, Roma ve Bizans dönemlerine ait kültürel izler taşımaktadır (URL-1). Antik kentin girişinde yer alan çalışma alanında, geçmişte yaklaşık iki yüz sütun bulunmaktaydı; ancak günümüzde bu sütunlardan yalnızca otuz üç tanesi ayakta kalmıştır. Bu sütunların 4'ü batı, 29'u ise doğu sütun dizisine aittir. Korinth düzeninde tasarlanmış sütun başlıklarının bir kısmı figürlerle süslenmiştir; bazı sütunlar ise Roma imparatorları veya yüksek rütbeli yöneticilerin büstlerini taşımaktadır (URL-2). Şu anda düzensiz bir mimari yapıya sahip olan bu alan, karmaşık yapısı ve ciddi derecede yıpranmış olması nedeniyle çalışma

için seçilmiştir (Şekil 2). Mersin'in önemli tarihi yapılarından biri olan Soli Pompeiopolis antik kentinin sütunları, 36° 44' 35" K enlemi ve 34° 32' 24" D boylamı üzerinde yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı.



Şekil 2. Sütunlu cadde.

## 3. Materyal ve Metodoloji

Bu çalışmada, tarihi yapıların 3B modellemesi için fotogrametri tekniği kullanılmıştır. Fotogrametri, nesnelere ölçümünü ve analizini fotoğraflar üzerinden gerçekleştiren bir tekniktir. Bu teknik, nesnelere fiziksel boyutlarını, şekillerini, konumlarını ve yönelimlerini belirlemek için fotoğrafların geometrik özelliklerinden faydalanır [26, 27]. Fotogrametrik işlem, belirli bir nesnenin fotoğrafı çekildiğinde, bu fotoğrafın izdüşümünü ve nesnenin görüntüdeki konumunu kullanarak gerçek dünya koordinatları ve boyutları hakkında bilgi sağlamaktadır [1, 4-7].

Fotogrametrinin özel bir alt dalı olan hava fotogrametrisi, İHA kullanılarak gerçekleştirilen bir fotogrametrik belgeleme tekniğidir. Hava fotogrametrisi, özellikle büyük alanlar veya erişimi zor yapılar üzerinde veri toplama sürecinde hız ve verimlilik sağlamaktadır [27-29]. İHA kullanımı, nesnelere fiziksel olarak yaklaşımdan hızlı, yüksek doğruluk ve hassasiyetle veri toplanabilmesini mümkün kılmaktadır [30]. İHA fotogrametrisi, geleneksel yöntemlerin erişim zorluklarını ve zaman

kısıtlamalarını ortadan kaldırarak kültürel mirasın belgeleme sürecinde devrim niteliğinde avantajlar sunar.

Bu çalışmada, tarihi sütunların 3B modellemesini gerçekleştirmek amacıyla İHA fotogrametrisi tercih edilmiştir. Bu bağlamda veri toplama işlemi için Parrot Anafi modeli İHA kullanılmıştır. Parrot Anafi, çalışma alanında yüksek doğrulukta veri elde etmek için uçuş menzili, uçuş süresi ve yüksek çözünürlüklü kamerası gibi özellikleri sayesinde uygun bir seçim olarak değerlendirilmiştir. Bu İHA, 4K HDR çözünürlükte görüntüler kaydedebilmekte ve 180 derece eğilebilen gimbal kamerasıyla geniş bir perspektif sunmaktadır (Tablo 1). Uygulama sürecinde, İHA uçuş rotası belirlenmiş, uygun irtifa, örtüşme oranı ve hız parametreleri ayarlanarak sistematik bir uçuş planı uygulanmıştır. Böylece, çalışma alanının tüm detaylarını kapsayacak şekilde yüksek çözünürlüklü fotoğraflar elde edilmiştir (Şekil 3).

Toplanan görüntüler, fotogrametrik modelleme işlemlerinde Agisoft Metashape ve SketchUp yazılımlarında işlenmiştir. Agisoft Metashape, dijital görüntülerin fotogrametrik işlenmesini gerçekleştiren, çok aşamalı iş akışına sahip bir yazılım olup; görüntülerin hizalanması, nokta bulutu oluşturulması, modelleme ve ortofoto üretimi gibi işlemleri otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. Bu yazılım, fotogrametrik analizlerin yüksek doğrulukta yapılmasına ve detaylı 3B modellerin üretilmesine olanak tanımaktadır. SketchUp ise, 3B model üzerinde detaylı düzenlemeler yapabilen, x, y, z eksenlerinde çizim yapılmasını sağlayan ve kullanımı kolay bir mimari modelleme programıdır. Çalışmada elde edilen 3B model, nokta bulutu ve katı model formatında hibrit bir yapıya dönüştürülerek kullanılmıştır.

Fotogrametrinin temel matematiksel modeli, merkezi izdüşüm prensibine dayanmaktadır. Merkezi izdüşüm, bir fotoğrafın odak noktasından alınan nesnelerin görüntüsünü, perspektif özelliklerini koruyarak izdüşüm düzlemine taşır. Bu yöntem, görüntülerin derinlik ve uzaklık bilgilerini de içeren 3B veriler elde edilmesini sağlar. Merkezi izdüşüm modeli, bir fotoğraf üzerindeki nesnelerin konum, şekil, büyüklük, görünüş gibi özelliklerini belirlemek için önemli bir matematiksel altyapı sunar. Fotogrametrik işlemler sırasında merkezi izdüşüm modeli kullanılarak fotoğraf üzerindeki her pikselin gerçek dünyadaki koordinatları hesaplanabilmektedir.

Fotogrametrik işlemdeki yöneltme aşamaları iç yöneltme ve dış yöneltme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İç yöneltme, kameranın iç parametrelerinin belirlenmesini ve piksel koordinatlarından görüntü koordinat sistemine geçişi içerir. Bu işlem, görüntülerin geometrik özelliklerinin korunmasını sağlar ve elde edilen görüntülerin doğru

bir şekilde işlenmesine olanak tanır. Dış yöneltme ise, görüntü koordinatlarından arazi koordinatlarına geçişi sağlayarak görüntülerin gerçek dünya üzerindeki doğru konumlarını belirler. Dış yöneltme süreci iki aşamadan oluşur: karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme. Karşılıklı yöneltme aşamasında, birbirini örtüşen görüntüler arasındaki ortak noktalar eşleştirilerek görüntülerin hizalanması sağlanır. Mutlak yöneltme aşamasında ise, bu eşleştirilen görüntüler dünya koordinat sistemi ile ilişkilendirilerek, görüntülerin 3B arazi koordinat sistemine aktarılması sağlanır.

Bu çalışmada ayrıca, Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure from Motion - SfM) tekniği kullanılmıştır. SfM, sırayla çekilen 2B görüntülerden 3B modeller oluşturmayı sağlayan bir fotogrametri yöntemidir. SfM, nesnelerin 3B modelini oluşturmak için stereo görüntü tekniğini kullanır ve görüntülerdeki ortak noktaları belirleyerek 3B yapıyı oluşturur. SfM algoritması, görüntülerdeki ortak referans noktalarını tespit ederek iç yöneltme ve dış yöneltme parametrelerini otomatik olarak hesaplar. Bu işlem, operatör müdahalesini minimuma indirerek iş yükünü azaltır ve süreci hızlandırır. SfM yönteminin kullanımı, karmaşık geometrik yapıya sahip nesnelerin yüksek doğrulukta modellenmesine imkân tanır ve geniş veri kümelerinin işlenmesinde etkin bir çözüm sunar. SfM'nin sağladığı otomatik hizalama ve eşleme yetenekleri sayesinde 3B modelleme süreci oldukça verimli bir şekilde tamamlanmaktadır.

Bu yöntemlerin birleşimi sayesinde, tarihi yapıların 3B modelleri yüksek doğrulukta ve detaylı bir şekilde elde edilmiş; böylece kültürel mirasın korunması ve geleceğe aktarılması için gerekli altyapı oluşturulmuştur.



Şekil 3. Parrot anafi.

Tablo 1. Parrot anafi teknik özellikleri.

| Özellik                     | Değer                       |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Ağırlık                     | 315 g.                      |
| Maksimum iletim mesafesi    | 4km                         |
| Maksimum uçuş süresi        | 26dk.                       |
| Maksimum yatay hız          | 34mph.                      |
| Maksimum dikey hız          | 4m / s.                     |
| Maksimum rüzgar direnci     | 31mph.                      |
| Maksimum çalışma yüksekliği | Deniz seviyesinden 4.500 m. |



### 3.1. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, üç boyutlu modelleme çalışmalarında elde edilen verilerin güvenilirliğini ve hassasiyetini değerlendirmek için temel bir süreçtir. Bu analiz, kullanılan veri toplama yöntemlerinin etkinliğini, modelleme sürecindeki hata paylarını ve sonuçların doğruluk seviyesini belirlemek amacıyla yapılır. Fotogrametrik işlemler sırasında doğruluk analizi, genellikle nokta bulutu modelleri, yüzey dokuları ve YKN gibi referans veriler üzerinden gerçekleştirilir.

Fotogrametri tabanlı modellemede doğruluk analizi iki temel aşamada incelenir. İlk aşamada, modelin oluşturulmasında kullanılan iç ve dış yöneltme parametrelerinin doğruluğu değerlendirilir. İç yöneltme, kameranın optik özelliklerini ve görüntülerin geometrik uyumluluğunu test ederken, dış yöneltme, modelin gerçek dünya koordinatlarına göre doğru bir şekilde hizalanmasını sağlar. Dış yöneltme sırasında, model ile YKN arasında sapma miktarı hesaplanarak, modelin gerçek dünya ile ne kadar uyumlu olduğu belirlenir. Bu aşamada kullanılan doğruluk ölçütlerinden biri, ortalama karesel hata (RMSE) değeridir. RMSE, modeldeki sapmaların büyüklüğünü sayısal olarak ifade eder ve modelin genel doğruluk seviyesinin bir göstergesi olarak kullanılır. RMSE için Denklem 1 kullanılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(\Delta X_i)^2 + (\Delta Y_i)^2 + (\Delta Z_i)^2]} \quad (1)$$

Burada:

n: Toplam Yer Kontrol Noktası (YKN) sayısı.

$\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$ : Ölçülen değer ile referans değer arasındaki farklar.

Bir diğer kritik doğruluk analizi adımı, modelin yüzey dokusunun değerlendirilmesidir. Yüzey dokusu, üç boyutlu modelin fiziksel gerçekliği ne kadar doğru yansıttığını gösteren önemli bir unsurdur. Bu analizde, modelde yer alan dokusal detaylar fiziksel örneklerle karşılaştırılır. Örneğin, tarihi yapıların yüzeyindeki figürler, desenler veya aşınma izleri gibi detaylar, modelin gerçekliği ne derece yansıttığını ölçmek için referans alınır. Yüzey dokusunun analizi, hem görsel hem de metrik karşılaştırmalar yoluyla yapılır.

Fotogrametrik modellerde doğruluğu etkileyen faktörler arasında, fotoğrafların çekim kalitesi, örtüşme oranı, uçuş parametreleri ve yazılım tabanlı işleme teknikleri yer alır. Özellikle İHA fotogrametrisi gibi modern yöntemlerde, veri toplama sürecinde yüksek örtüşme oranları sağlanması ve uygun uçuş rotalarının belirlenmesi, doğruluk seviyesini artıran

önemli unsurlardır. Ayrıca, kullanılan yazılımın işlem algoritmaları, nokta bulutu oluşturma ve yüzey modeli üretme süreçlerinde doğruluğu doğrudan etkiler.

Sonuç olarak, doğruluk analizi, 3B modelleme çalışmalarının güvenilir bir temel üzerinde ilerlemesini sağlayan kritik bir adımdır. Bu süreçte elde edilen bulgular, modelleme çalışmalarının yalnızca görsel doğruluğunu değil, aynı zamanda metrik hassasiyetini de ortaya koyar. Doğruluk analizine ilişkin bu teorik çerçeve, fotogrametrik modellemenin bilimsel ve teknik yeterliliğini değerlendirmek için standart bir yöntem sunar.

## 4. Bulgular

Bu çalışmada, Mersin'in Soli Pompeiopolis antik kentinde yer alan tarihi sütunlu caddenin 3B modeli, İHA fotogrametrisi ve modern dijital modelleme teknikleri kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma, fotogrametrik modelleme süreçlerinin tüm aşamalarını detaylı bir şekilde ele alarak antik kent gibi tarihi alanların belgelenmesine yönelik geniş kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, antik kentteki mimari unsurların dijital olarak korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından önemli veriler sağlamaktadır.

### 4.1. Veri Toplama Süreci ve Fotoğraf Hizalama

Veri toplama sürecinde, çalışma alanı olan sütunlu cadde üzerinde Parrot Anafi İHA kullanılarak 57 adet bindirmeli fotoğraf çekilmiştir. Çekim sırasında İHA'nın uçuş irtifası, hız, fotoğrafların örtüşme oranı gibi parametreler optimum düzeyde ayarlanarak, sütunların detaylarını tam anlamıyla yansıtan yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmiştir. Bindirme oranı, her fotoğrafın bitişik karelerle örtüşme düzeyini artırarak modeldeki doğruluğu artırmak amacıyla yaklaşık %70-80 olarak belirlenmiştir. Bu oran, fotogrametrik işlemler sırasında ortak referans noktalarının tespit edilmesini kolaylaştırmış ve modelin daha stabil bir yapıda oluşturulmasına katkı sağlamıştır.

Elde edilen görüntüler, Agisoft Metashape yazılımına aktarılmış ve fotoğrafların hizalanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf hizalama sürecinde yazılım, her bir görüntü çifti arasındaki bağ noktalarını (Tie Points) algılayarak fotoğrafları sütunların konumuna göre hizalamıştır. Bu süreç, sütunların izdüşümleri üzerinden konum ve perspektif özelliklerinin belirlenmesini sağlayarak modelin temel altyapısını oluşturmuştur. Hizalama işleminin ardından fotoğrafların örtüşen alanları detaylı olarak işlenmiş, bu sayede yüksek doğrulukta bir nokta bulutu modeli elde edilmiştir.

#### 4.2. Nokta Bulutu ve 3B Yüzey Modelinin Oluşturulması

Fotoğrafların hizalanması ile oluşturulan temel bağ noktaları doğrultusunda, yoğun bir nokta bulutu (Dense Point Cloud) model oluşturulmuştur. Nokta bulutu, sütunların üç boyutlu olarak temsilini sağlayan ve yapının her bir detayıyla ilgili hassas veriler içeren bir veri seti sunmaktadır. Bu yoğun nokta bulutu, sütunların dokusal ve geometrik özelliklerinin sayısal olarak kaydedilmesini mümkün kılmıştır. Nokta bulutunun yoğunluğu, modelin doğruluğunu ve detay düzeyini artırmakta kritik bir rol oynamış ve sütunların ayrıntılı bir yapısal analizine olanak sağlamıştır. Nokta bulutu modeli, sütunlu caddenin detaylı bir temsilini sunmakta ve bu aşamanın tamamlanmış halini Şekil 4'te görebilirsiniz.

Nokta bulutu modeli oluşturulduktan sonra, sütunların yüzey özellikleri işlenmiş ve yüzey dokusu (Texture) oluşturulmuştur. Yüzey dokusu işlemi, sütunların mevcut durumlarını detaylı bir şekilde yansıtmakta ve yapının tarihi dönemine ait izleri korumaktadır. Fotogrametrik işleme sürecinin bu aşamasında, her bir noktanın gerçek dünyadaki karşılığı sistemli bir şekilde yapılandırılarak sütunlu caddenin üç boyutlu yüzey modeli tamamlanmıştır. Elde edilen bu yüzey modeli, sütunların konum, yükseklik, çap ve yüzey detaylarının doğru bir şekilde dijital ortama aktarılmasını sağlamıştır.



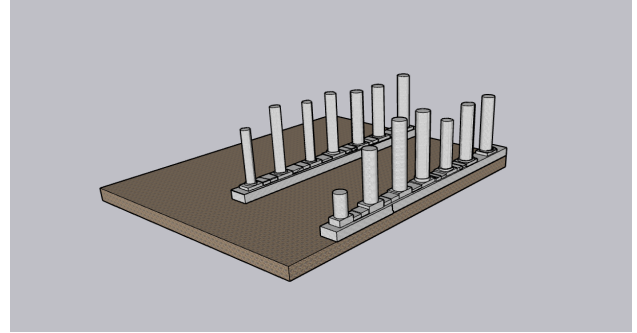
Şekil 4. 3B nokta bulutu.

#### 4.3. Vektörel Modelleme ve Detaylı Ölçüm İşlemleri

Fotogrametrik yüzey modelinin ardından, SketchUp yazılımında vektörel modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. Vektörel modelleme, sütunların yüksek çözünürlüklü 3B modelinin doğrulayıcı ölçüm ve çizim işlemleri ile yeniden yapılandırılmasına imkân tanımıştır. Bu aşamada, Agisoft Metashape yazılımında elde edilen model üzerinden sütunların yükseklik, genişlik, uzunluk ve çap gibi ölçüm verileri toplanmış ve SketchUp yazılımında bu parametreler kullanılarak sütunların vektörel çizimleri yapılmıştır. Bu çizimlerde, sütunların taban alanı ve üst kısımlarına dair ölçümler, sütunların mimari özelliklerine uygun olarak detaylandırılmıştır. SketchUp yazılımında

çizim komutları (line, offset, push-up) kullanılarak her bir sütun için ayrı ayrı üç boyutlu vektörel modeller üretilmiştir (Şekil 5).

Vektörel modelleme sürecinde sütunların detaylı özellikleri dikkate alınarak kalınlık, yükseklik gibi detaylar en ince ayrıntısına kadar modellenmiştir; ayrıca sütun başlıklarının Korinth düzeninde olması, figürlü ve imparator büstleri içeren detaylarının modelde görünür olması sağlanmıştır. Böylece, elde edilen vektörel model, sütunların sanatsal ve mimari unsurlarını gerçekçi bir şekilde yansıtmış ve tarihi alana dair kapsamlı bir dijital kayıt sunmuştur.



Şekil 5. 3B vektörel model.

#### 4.4. Modelin Potansiyel Kullanım Alanları

Oluşturulan 3B nokta bulutu ve vektörel modeller, tarihi sütunlu caddenin dijital ortamda korunmasını ve belgeleme sürecini önemli ölçüde desteklemektedir. Bu modellerin restorasyon projelerinde altlık olarak kullanılması, tarihi yapının fiziksel özelliklerinin güncel durumuyla uyumlu şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Elde edilen modeller, sütunların orijinal boyutları, açılar ve mimari özelliklerine dair detaylı veriler içermektedir. Bu durum, restorasyon çalışmaları sırasında yapısal bozulmaların tespiti ve eski haline uygun restorasyon yapılması açısından önemli bir kaynak sağlamaktadır.

Ayrıca, üç boyutlu modellerin dijital kütüphanelerde saklanarak çeşitli akademik çalışmalar ve disiplinler arası araştırmalar için erişilebilir hale getirilmesi, bu tür tarihi eserlerin korunmasına yönelik bilinç oluşturma açısından değerli bir katkı sunmaktadır. Elde edilen dijital kayıtlar, farklı uzmanlık alanlarındaki araştırmacılar için referans niteliği taşıırken, aynı zamanda kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasında da önemli bir rol oynamaktadır.

#### 4.5. Avantajlar ve Karşılaşılan Zorluklar

Bu çalışmada kullanılan İHA fotogrametrisi ve dijital modelleme teknikleri, veri toplama sürecinde sağladıkları hassasiyet, hız ve verimlilik gibi avantajlarıyla dikkat çekmiştir. İHA fotogrametrisi,

tarihi yapılara yaklaşımadan, güvenli ve yüksek doğrulukta veri toplamayı sağlamış; ayrıca büyük miktarda verinin kısa sürede işlenmesini mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemin bazı dezavantajları da ortaya çıkmıştır. Veri uyum zorlukları, başlangıç maliyetlerinin yüksekliği ve İHA kullanımında güvenlik/gizlilik sorunları gibi sınırlamalar, çalışmanın karşılaştığı temel zorluklar arasında yer almıştır.

Çalışmanın bulguları, İHA fotogrametrisi ve modern modelleme tekniklerinin tarihi yapılar üzerinde yüksek doğruluk ve detay düzeyi sunarak güvenilir dijital belgeler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen 3B modeller, restorasyon, koruma ve akademik çalışmalar için stratejik bir kaynak olarak değerlendirilebilmekte; tarihi yapıların dijital ortamda korunması ve gelecek nesillere aktarılması için önemli bir altlık sağlamaktadır. Elde edilen dijital verilerin dijital kütüphanelerde saklanarak bilimsel çalışmalara katkı sağlaması, kültürel mirasın sürdürülebilir yönetimi açısından büyük bir avantaj sunmaktadır.

#### 4.6. Doğruluk Analizi ve Değerlendirilmesi

Doğruluk analizi, çalışmada elde edilen 3B modellerin güvenilirliğini ve hassasiyetini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, modelleme sürecinin her aşamasında doğruluk testleri yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Çalışmada elde edilen yoğun nokta bulutu modeli, YKN ile karşılaştırılmıştır. Doğruluk analizi için sahada ölçülen 12 YKN kullanılmıştır.

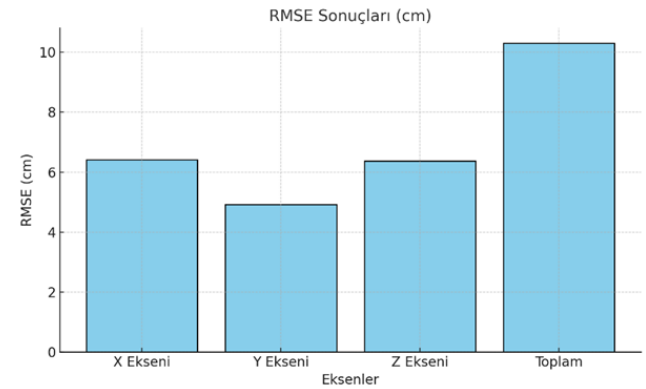
Agisoft Metashape yazılımında oluşturulan modelin X, Y ve Z eksenlerindeki sapmaları hesaplanmış, RMSE değerleri sırasıyla 6.41 cm, 4.93 cm ve 6.97 cm olarak bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu sonuçlar, modelin yüksek doğruluk seviyesine sahip olduğunu ve saha ölçüleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Toplam RMSE ise 10.30 cm hesaplanmıştır. RMSE sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

Ayrıca, modelin yüzey dokusunun doğruluğu da analiz edilmiştir. Sütun yüzeylerindeki dokusal detaylar, fiziksel ölçümlerle karşılaştırılmış ve yaklaşık %95 oranında bir uyumluluk tespit edilmiştir. Bu durum, sütunların üzerindeki figürler, desenler ve aşınma izlerinin dijital modelde doğru bir şekilde temsil edildiğini ortaya koymaktadır. Fotogrametrik modelleme sürecinde kullanılan iç ve dış yönelme parametrelerinin doğruluğu, YKN ile fotoğrafların hizalanması sonucu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fotogrametrik modellemenin genel olarak %0.85'lik bir sapma ile yüksek doğruluk düzeyinde olduğunu göstermiştir.

Yapılan analizler, modelin genel doğruluk seviyesinin oldukça yüksek olduğunu ve kullanılan İHA fotogrametrisi yönteminin, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla üstün bir hassasiyet sağladığını ortaya koymuştur. Bu doğruluk seviyesi, tarihi yapıların dijital belgelenmesi ve korunması açısından İHA fotogrametrisi yönteminin güvenilir ve etkin bir araç olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışmada kullanılan yöntemlerin sonuçları, gelecekteki restorasyon ve koruma projelerinde referans alınabilecek nitelikte bir veri seti sunmaktadır.

**Tablo 2.** YKN doğruluk analizi ve RMSE hesaplama sonuçları.

| YKN   | Fark (X) (cm) | Fark (Y) (cm) | Fark (Z) (cm) |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| YKN1  | -2.5          | 6.6           | -0.9          |
| YKN2  | 9.0           | -5.8          | 5.7           |
| YKN3  | 4.6           | -6.4          | -6.0          |
| YKN4  | 2.0           | -6.3          | 0.3           |
| YKN5  | -6.9          | -3.9          | 1.8           |
| YKN6  | -6.9          | 0.5           | -9.1          |
| YKN7  | -8.8          | -1.4          | 2.2           |
| YKN8  | 7.3           | -4.2          | -6.6          |
| YKN9  | 2.0           | 2.2           | -8.7          |
| YKN10 | 4.2           | -7.2          | 9.0           |
| YKN11 | -9.6          | -4.2          | 9.3           |



**Şekil 6.** YKN için X, Y, Z eksenleri ve toplam RMSE değerleri.

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışma, Mersin'deki Soli Pompeiopolis antik kentinde bulunan tarihi sütunlu caddenin 3B modellemesini gerçekleştirerek, kültürel miras alanlarının dijital olarak belgelenmesinde İHA fotogrametrisi ve dijital modelleme tekniklerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Çalışma boyunca kullanılan İHA fotogrametrisi tekniği, yüksek hassasiyet ve detay seviyesinde veri sağlayarak, tarihi yapının dijital olarak korunmasına ve gelecekteki restorasyon projelerine referans oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Dijital modellerin elde edilmesiyle,

yapının mevcut durumu detaylı bir şekilde kayıt altına alınmış, bu sayede yapının zaman içerisindeki bozulmalarının takip edilmesi ve geçmişe uygun bir restorasyon yapılması mümkün hale gelmiştir.

Elde edilen 3B modellerin, kültürel mirasın korunması açısından sunduğu avantajlar oldukça fazladır. Dijital kayıtlar, yapının mimari ve sanatsal detaylarını yüksek doğrulukla yansıtarak restorasyon, koruma ve analiz süreçlerinde temel bir kaynak olarak kullanılabilir. Bu çalışma, üç boyutlu modellerin sadece fiziksel belgelerden öte, sanal ortamlarda kültürel mirası sürdürülebilir bir şekilde koruma, gelecek nesillere aktarım ve kültürel mirasın erişilebilirliğini artırma konusunda da önemli katkılar sunmaktadır.

Sonuçlar, İHA fotogrametrisi ile elde edilen verilerin, yalnızca yapının geometrik özelliklerini değil, aynı zamanda yüzey dokusu gibi detayları da doğru bir şekilde aktardığını göstermektedir. Bu durum, üç boyutlu modellerin arkeolojik ve mimari araştırmalar için değerli bir araç haline gelmesini sağlamaktadır. İHA fotogrametrisi ile dijital modelleme, yalnızca Türkiye’de değil, dünya genelinde kültürel miras alanlarının korunmasında kullanılabilecek verimli ve maliyet etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Çalışmanın sunduğu teknikler ve elde edilen bulgular, farklı tarihi alanların belgelenmesi, korunması ve sürdürülebilir yönetimi için örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, dijital belgeleme sürecinin gelişmiş teknolojik yöntemlerle entegrasyonu ve yaygınlaştırılması önerilmektedir. Dijital modellerin dijital kütüphanelerde saklanarak farklı disiplinlerdeki araştırmacılar ve koruma uzmanları tarafından erişilebilir hale getirilmesi, kültürel mirasın korunmasında sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

[1] 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. <https://doi.org/10.53030/tufod.1313200>

- [2] 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.
- [3] Erdoğan, A., Görken, M., & Coşkun, T. (2024). İHA verileri ile CBS tabanlı 3B kent modeli örneği; Şefahtli Yeni Mahalle. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 1-6. <https://doi.org/10.51534/tiha.1379633>
- [4] Akın, E. S., & Erdoğan, A. (2022). İnsansız hava araçları (İHA) ile arkeolojik alanlarda belgeleme: Sarıkaya Roma Hamamı (Therma Basilica) örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(3), 335-343. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1038407>
- [5] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2024). Automatic crack detection and structural inspection of cultural heritage buildings using UAV photogrammetry and digital twin technology. *Journal of Building Engineering*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2024.109952>
- [6] Atıcı, A., Paksoy, M. F., & Kabadayı, A. (2024). Maden sahalarındaki stok miktarının İHA yardımıyla belirlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 8-13. <https://doi.org/10.53030/tufod.1489122>
- [7] Kabadayı, A., & Uysal, M. (2020). Çok yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 43-48.
- [8] Balcı, D., & Ulvi, A. (2024). Kültürel mirasların korunmasına yönelik LiDAR ve İHA fotogrametrisi yöntemlerinin birlikte kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 6(1), 10-29. <https://doi.org/10.51946/melid.1452988>
- [9] Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2024). Açık maden ocağındaki stok/pasa yığınının hacim hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 7-20. <https://doi.org/10.51534/tiha.1466284>
- [10] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2025). Virtual reality visualization of automatic crack detection for bridge inspection from 3D digital twin generated by UAV photogrammetry. *Measurement*, 242(Part B). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115931>
- [11] Yılmaz, A., & Ulvi, H. (2022). Kentsel hava sahasında insansız hava aracı sistemleri trafik yönetimi için verilmesi gereken hizmetler ve kullanılabilecek bazı teknolojiler. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 8-18. <https://doi.org/10.51534/tiha.1103761>
- [12] Kabadayı, A. (2022). Açık maden ocağında hacim hesabı için GNSS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız*

- Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 52-57. <https://doi.org/10.51534/tiha.1179910>
- [13] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2024). Detection of cracks in cultural heritage buildings using UAV photogrammetry-based digital twin. *Journal on Computing and Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1145/3703634>
- [14] Fiorillo, F., Perfetti, L., & Cardani, G. (2023). İHA fotoğrametrisi ile sismik bölgelerdeki tarihi binalardaki çatı hasarının otomatik haritalanması. *Procedia Structural Integrity*, 44, 1672–1679. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.214>
- [15] Hamal, S. N. G. (2023). Investigation of Underwater Photogrammetry Method: Challenges and Photo Capturing Scenarios of the Method. *Advanced Underwater Sciences*, 3(1), 19–25.
- [16] Martínez-Carricondo, P., Carvajal-Ramírez, F., Yero-Paneque, L., & Agüera-Vega, F. (2020). Combination of nadiral and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage: Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain). *Building Research & Information*, 48, 140–159. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1626213>
- [17] 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.
- [18] Lancaster, J. (2018). Pre-and post-arson three-dimensional reconstructions of the Lichtenwalter schoolhouse, Green, Ohio. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.02.001>
- [19] Etxepare, L., Leon, I., Sagarna, M., Lizundia, I., & Uranga, E. J. (2020). Advanced intervention protocol in the energy rehabilitation of heritage buildings: A Miñones barracks case study. *Sustainability*, 12, 6270. <https://doi.org/10.3390/su12156270>
- [20] Lin, G., Giordano, A., & Sang, K. (2021). From site survey to HBIM model for the documentation of historic buildings: The case study of Hexinwu village in China. *Conservation Science in Cultural Heritage*, 20, 111–123. <https://doi.org/10.6092/ISSN.1973-9494/12793>
- [21] Banfi, F., & Previtali, M. (2021). Human-computer interaction based on scan-to-BIM models, digital photogrammetry, visual programming language, and extended reality (XR). *Applied Sciences*, 11, 6109. <https://doi.org/10.3390/app11136109>
- [22] Ursini, A., Grazzini, A., Matrone, F., & Zerbinatti, M. (2022). From scan-to-BIM to a structural finite elements model of built heritage for dynamic simulation. *Automation in Construction*, 142, 104518. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104518>
- [23] Ergun, B., Sahin, C., & Bilucan, F. (2023). Level of detail (LoD) geometric analysis of relief mapping employing 3D modeling via UAV images in cultural heritage studies. *Heritage Science*, 11, 194. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01041-z>
- [24] Arslan, E., & Şekertekin, A. (2024). Tarihi ve kültürel mirasın 3 boyutlu belgelenmesinde insansız hava araçlarının kullanımı: Ceyhan Kurtkulağı Kervansarayı örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 641–649. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1389048>
- [25] Stanga, C., Banfi, F., & Roascio, S. (2023). Enhancing building archaeology: Drawing, UAV photogrammetry and scan-to-BIM-to-VR process of ancient Roman ruins. *Drones*, 7(8), 521. <https://doi.org/10.3390/drones7080521>
- [26] 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. <https://doi.org/10.53030/tufod.1293789>
- [27] Kabadayı, A. (2022). Unmanned aerial vehicle usage in rough areas and photogrammetric data generation. *Advanced UAV*, 1(1), 8–14.
- [28] Döş, M. E., & Yiğit, A. Y. (2022). Tarihi minberlerin fotogrametri yöntemi ile belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 58–65. <https://doi.org/10.53030/tufod.1197086>
- [29] Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35–40.
- [30] 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. <https://doi.org/10.53093/mephoj.1026039>



© Author(s) 2024.

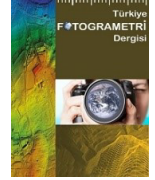
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



# Tarihi Sütunların Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3 Boyutlu Modellenmesi ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi

Adem Kabadayı<sup>1</sup>, Yunus Kaya<sup>\*2</sup>

- 1 Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Yozgat, Türkiye; (adem.kabadayi@bozok.edu.tr)
- 2 Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa, Türkiye; (yunuskaya@harran.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
yunuskaya@harran.edu.tr

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Kabadayı, A., & Kaya, Y. (2024). Tarihi Sütunların Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3 Boyutlu Modellenmesi ve WEB Tabanlı Görselleştirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 48-53.

Geliş : 19.11.2024  
Revize : 05.12.2024  
Kabul : 10.12.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

### Özet

Tarihi yapıların korunması ve sürdürülebilirliği, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, bir tarihi sütun yersel fotogrametri yöntemi kullanılarak dijital olarak modellenmiş ve oluşturulan 3B model, web tabanlı bir platformda görselleştirilmiştir. Yersel fotogrametri tekniği ile çekilen fotoğraflar üzerinden yüksek hassasiyetli bir 3B model üretilmiş ve bu model Sketchfab platformuna yüklenerek kullanıcıların erişimine sunulmuştur. Çalışmada sütunun farklı açılardan fotoğrafları çekilmiş, fotoğraflar arasında yüksek bindirme oranı sağlanmış ve 38 fotoğraf kullanılarak yaklaşık 1,9 milyon yüzeyden oluşan bir model oluşturulmuştur. Modelleme süreci, Agisoft Photoscan yazılımı ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion-SfM) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiş, model üzerinde yükseklik analizi yapılmıştır. Dijitalleştirme süreci, kültürel mirasın korunmasına katkı sağlamanın yanı sıra, eserin çevrimiçi ortamda incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntem, basit ekipmanlarla dahi etkili sonuçlar elde edilmesine imkân tanımaktadır. Çalışma, tarihi yapıların dijital ortamda korunması ve daha geniş kitlelere tanıtılması açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Elde edilen 3B modeller hem koruma hem de eğitim amacıyla kullanılacak değerli bir kaynak oluştururken, sanal müze gibi yenilikçi uygulamalara da imkân tanımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel fotogrametri, Tarihi sütun, 3B model, Sketchfab.

## 3D Modeling and WEB Based Visualization of Historical Columns with Terrestrial Photogrammetry Method

\*Corresponding Author:  
yunuskaya@harran.edu.tr

### Research Article

**Citation:** Kabadayı, A., & Kaya, Y. (2024). 3D Modeling and WEB Based Visualization of Historical Columns with Terrestrial Photogrammetry Method. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 48-53 (in Turkish).

Received : 19.11.2024  
Revised : 05.12.2024  
Accepted : 10.12.2024  
Published : 31.12.2024

### Abstract

The preservation and sustainability of historical artifacts is critical for the transfer of cultural heritage to future generations. In this study, a historical column was modelled by using terrestrial photogrammetry method and the 3D model was visualised on a web-based platform. A high-precision 3D model was produced from the images taken with the terrestrial photogrammetry technique and this model was uploaded to the Sketchfab platform and made available to users. In the study, photographs of the column were taken from different angles, a high overlap ratio was achieved between the photographs and a model consisting of approximately 1.9 million surfaces was created using 38 photographs. The modelling process was carried out using Agisoft Photoscan software and Structure from Motion (SfM) technique, and height analysis was performed on the model. In addition to contributing to the preservation of cultural heritage, the digitisation process allows the artifact to be examined online. This method allows effective results to be obtained even with simple equipment. The study provides an important contribution in terms of preserving historical artifacts in digital environment and introducing them to a wider audience. While the 3D models obtained constitute a valuable resource that can be used for both conservation and educational purposes, it also enables innovative applications such as virtual museums.

**Keywords:** Terrestrial photogrammetry, Historical column, 3D model, Sketchfab.

## 1. Giriş

Tarihi eserler, bir toplumun kültürel, sanatsal ve bilimsel mirasını yansıtan en değerli varlıklardır [1]. Bu eserler, geçmiş medeniyetlerin izlerini taşıyarak, insanlık tarihinin evrimini anlamamıza yardımcı olur. Kültürel miras, yalnızca tarihî bir değer taşımakla kalmaz, aynı zamanda bir toplumun kimliğini, geleneklerini ve kültürünü koruyarak, gelecek nesillere aktarılmasını sağlar [2]. Bu eserlerin korunması ve yaşatılması, sadece tarihî bir sorumluluk değil, aynı zamanda modern toplumların kültürel çeşitliliğini sürdürebilmeleri için kritik bir gerekliliktir [3]. Ancak, doğal afetler, insan etkisi ve zamanın getirdiği yıpranma gibi faktörler, tarihi eserlerin korunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, gelişen teknolojilerin kültürel mirasın korunmasındaki rolü giderek artmaktadır.

Fotogrametri, kültürel mirasın korunmasında büyük bir öneme sahiptir [4]. Geçmişte yapılan çalışmalarda, fotogrametrik yöntemler, tarihi yapıların detaylı bir şekilde belgelenmesi ve 3D modellerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmıştır. Güleç [5], kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için belgelenmesinin zorunlu olduğunu, bu sürecin teknolojik gelişmelerle hız ve hassasiyet kazandığını vurgulamıştır. Yersel fotogrametri, tarihi yapıların 3 boyutlu modellenmesi ve mevcut durumlarının belgelenmesinde önemli avantajlar sunarak, özellikle detaylı ve ölçülmesi zor alanlarda etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Pamuk [6], termal ve dijital kameralarla tarihi eserlerin fotogrametrik belgelenmesini, geometrik modelleme ve spektral analizle detayların incelenmesini ele almıştır. Termal görüntüleme, yüzey sıcaklıklarını hassas ölçerek zarar vermeden veri sağlamış, elde edilen görüntüler Agisoft ve Python ile analiz edilmiştir. Çalışma, eserlerin sürdürülebilir korunmasını amaçlamaktadır. Pakben [7], kültür varlıklarının belgelenmesinin, bu eserlerin tarihi belge olarak geleceğe aktarılmasında önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. Çalışmada, geleneksel ve ileri belgeleme teknikleri tanımlanmış, mimari belgeleme çalışmalarında dijital fotogrametri ve lazer tarama yöntemlerinin giderek yaygınlaştığı belirtilmiştir. Özellikle karmaşık geometrilere veya hasarlı yapılara sahip eserlerde, bu tekniklerin hassasiyet ve hız açısından üstün olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, farklı yöntemlerin bir arada kullanılmasının daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve yöntemlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Fotogrametri, yalnızca tarihi yapıların belgelenmesinde değil, aynı zamanda bu yapıların korunması ve restorasyonunun planlanmasında da önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Tuno vd. [8], çalışmalarında Bosna

Hersek'teki ulusal anıt olan Keçi Köprüsü'nün İHA fotogrametrisi ile belgelenmesine odaklanmaktadır. Gelişmiş görselleştirme teknikleri ve 3D baskı kullanılarak köprünün detaylı bir 3B modeli oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, köprünün daha iyi anlaşılmasını ve korunmasını sağlayarak kültürel miras olarak değerini artırmaktadır. Bu yöntem, karmaşık geometrilere sahip tarihi yapıları doğru bir şekilde dijital ortama aktararak, restorasyon süreçlerinin daha verimli ve doğru bir şekilde yapılmasına olanak tanır.

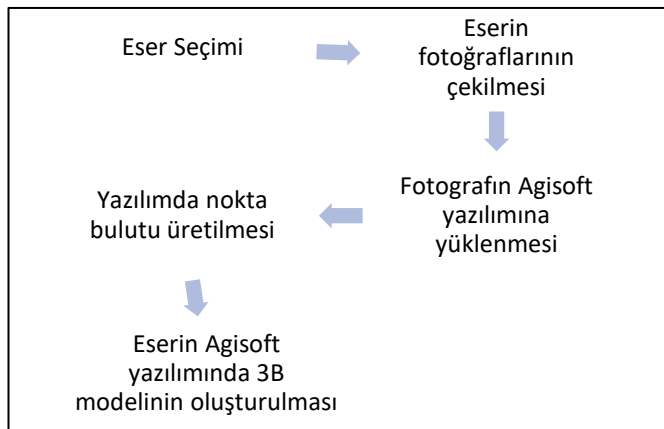
Tarihi yapıların web tabanlı ortamda görselleştirilmesi, günümüzde giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Web tabanlı görselleştirme, kullanıcıların tarihi eserlere kolay erişimini sağlar ve bu eserlerin korunmasına yönelik farkındalık yaratır. 3B modellemelerin ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımı, tarihi yapıların daha geniş kitlelere tanıtılmasını sağlamaktadır. Zheng vd. [9] ve El-Said ve Aziz [10], COVID-19 gibi kriz dönemlerinde sanal turların turizm sektörü için önemli bir alternatif olduğunu vurgulamıştır. Zheng vd. [9], sanal turların zihinsel imaj işleme yoluyla öğrenme ve duyguları etkileyerek ziyaret niyetini şekillendirdiğini belirtirken, El-Said ve Aziz [10], sanal turların benimsenmesini açıklayan modeller kullanarak, bu turların gerçek mekanları ziyaret etme isteğini artırdığını göstermiştir. Her iki çalışma da sanal turların turizm pazarlamasında etkili bir araç olduğunu vurgulamaktadır. Lv vd. [11], tarihi yapıların dijital modellerini internet ortamında sunarak, bu eserlerin sanal ortamda gezilmesini sağlayan bir platform geliştirmiştir. Bu tür projeler, kullanıcıların tarihe dair bilgi edinmelerine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda kültürel mirasın dijital ortamda korunmasına katkı sağlar [12, 13]. Web görselleştirmesi, eserlerin zarar görmeden incelenmesini ve potansiyel restorasyon ihtiyaçlarının önceden tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Büyükkuru [14], kültürel mirasın dijitalleştirilmesinin, korunması ve sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşıdığını vurgulamaktadır. Dijital teknolojilerin, kültürel mirasın depolanması, korunması ve turizm alanındaki kullanımını kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Sanal ve artırılmış gerçeklik gibi yenilikçi uygulamaların, turistlerin kültürel mirasla etkileşimlerini artırarak deneyimlerini zenginleştirdiği ifade edilmiştir. Çalışma, kültürel mirasa yönelik çevrimiçi uygulamaların işlevlerini ve turizmdeki faydalarını ele almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bir tarihi sütunun fotogrametrik yöntemlerle dijital olarak modellenmesi ve bu modelin web tabanlı bir platformda görselleştirilmesidir. Yersel fotogrametri teknikleri kullanılarak, sütunun yüksek hassasiyetli 3B modeli oluşturulacak ve internet üzerinden erişilebilir hale

getirilecektir. Dijitalleştirme süreci, eserin korunmasına katkı sağlamanın yanı sıra, kullanıcıların tarihi yapıyı detaylı bir şekilde incelemelerine olanak tanıyacaktır. Çalışmada kullanılan web tabanlı görselleştirme teknolojisi, kullanıcıların artırılmış gerçeklik gibi interaktif özellikler aracılığıyla bu tarihi yapıyı sanal ortamda deneyimlemelerini mümkün kılacaktır. Bu dijitalleştirilmiş tarihi yapılar, hem koruma hem de eğitim amacıyla daha geniş bir kitleye ulaşabilecek, kültürel mirasın korunması ve tanıtımı açısından önemli bir kaynak oluşturacaktır.

## 2. Yöntem

Fotogrametri, belirli bir oranda örtüşen fotoğrafların fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilerek fotoğraf üzerinden metrik bilgi elde etmeyi amaçlayan bilim dalıdır. Bu alanda, fotoğraflar ve fotoğrafın oluşturduğu ışınlar yardımıyla, çevre ve cisimler hakkında güvenilir veriler elde edilmek amacıyla çeşitli ölçümler yapılır. Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion-SfM), fotogrametrinin bir alt dalı olarak, birden fazla fotoğraftan üç boyutlu modeller oluşturmak için kullanılır. SfM, birden fazla fotoğraf kullanarak üç boyutlu yapıların oluşturulmasını sağlayan bir fotogrametrik tekniktir. SfM, farklı açılardan çekilen fotoğraflardaki ortak özellikleri tespit eder, kamera konumlarını ve yönelimlerini hesaplar ve bu verilerle 3B modelleme yapar. Bu yöntem, özellikle yüksek çözünürlükle hızlı ve maliyet etkin 3B modeller oluşturulmasını sağlar. SfM, hem yersel hem de hava fotogrametrisinde kullanılabilir, arkeoloji, mimari, peyzaj ve topoğrafya gibi birçok alanda uygulanabilir. Bu teknoloji, detaylı veri sağlar ve yapıları dijital ortamda korur. Bu çalışmada kullanılan iş akış diyagramı Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 1. İş akış diyagramı.

Fotogrametri, fotoğrafların çekildiği konuma bağlı olarak yersel ve hava fotogrametrisi olarak ikiye ayrılabilir [15]. Bu çalışmada tarihi sütunun 3B

modellenmesi için yersel fotogrametri yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan tarihi sütuna ait farklı açıdan çekilen fotoğraflar Şekil 3’de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan fotoğraf makinesi Şekil 2’de, fotoğraf makinesine ait teknik özellikler ise Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Canon A810 fotoğraf makinesi [16].



Şekil 3. Çalışmada kullanılan sütun.

Tablo 1. Canon A810 fotoğraf makinesi teknik özellikleri [16].

| Özellik                      | Değer                       |
|------------------------------|-----------------------------|
| Kamera Çözünürlüğü           | Yaklaşık 16.0 milyon piksel |
| Toplam Megapiksel            | 16.6                        |
| Sensör Boyutu                | 1 / 2,33 "                  |
| Maksimum Görüntü Çözünürlüğü | 4608 x 3456                 |
| Piksel Aralığı               | 1,34 $\mu\text{m}$          |
| Piksel Alanı                 | 1,80 $\mu\text{m}^2$        |



Çalışmada toplam 46 adet fotoğraf çekilmiştir ve bu fotoğrafların 38 tanesi modellemede kullanılmıştır. Fotoğraf çekiminde mümkün olduğunca çok bindirme olmasına dikkat edilmiştir. Elde edilen fotoğraflar Agisoft Photoscan yazılımında dengelenmiştir. Fotogrametrik blok dengelemesi için SfM tekniği kullanılmıştır [17]. Smith vd. [18], SfM tekniğiyle üretilen 3B modellerin gerçek nesnelere daha iyi temsil ettiğini ve özellikle model üzerinden çizim işlerinde veya hassas ölçüm gerektiren işlerde SfM tekniğini kullanmanın uygun olacağını belirtmişlerdir.

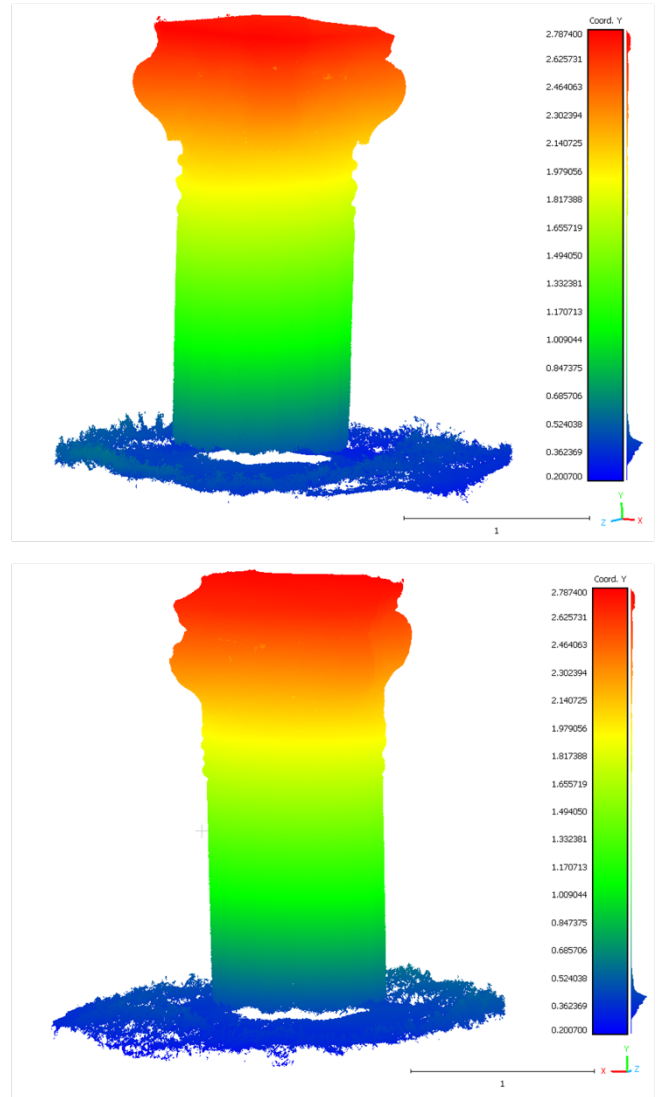
### 3. Uygulama

Yapılan çalışmada ilk olarak modeli yapılacak sütunun farklı açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflarda bindirme oranının yüksek olmasına dikkat edilmiştir. Çekilen 46 fotoğraf arasından uygun olanları belirlenmiş ve 38 fotoğraf modellemede kullanılmıştır. Modellemede Agisoft Photoscan yazılımında yapılmıştır. Bu yazılımın mimari restorasyon ve kültürel miras koruma projelerinde yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir. Özellikle sütunların modellemesinde, detaylı ölçüm ve görselleştirme yapabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu yazılım, sadece bireysel yapı elemanlarını değil, aynı zamanda geniş alanlarda da doğruluğu yüksek modellerin oluşturulmasında etkilidir. Modelleme çalışmasında dengeleme sonucu 52.142 adet bağlama noktası (tie point) üretilmiştir. Yoğun nokta bulutu yüksek kalitede üretilmiş ve yaklaşık 11 milyon nokta elde edilmiştir. 3B model de yüksek kalitede oluşturulmuş ve yaklaşık 1,9 milyon yüzeyden oluşmaktadır. Modelleme sonucunda elde edilen 3B modelden örnekler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3B model örnekleri.

Sütunun yüzeyindeki yükseklik dağılımının belirlenmesi için Y koordinatını baz alacak şekilde yükseklik bilgisi üretilmiştir (Şekil 4)



Şekil 4. 3B modelin yükseklik bilgisi.

3B modelin web ortamında görüntülenebilmesi ve kullanıcılar tarafından detaylı bir şekilde incelenebilmesi için Sketchfab yazılımına yüklenmiştir. Kullanıcılar <https://skfb.ly/p8Gn9> linki ile veya Şekil 5'teki karekodu tarayarak ile 3B modeli inceleyebilmektedir.



Şekil 5. 3B modelin karekodu ve yazılımdan örnek bir görüntü.

#### 4. Sonuçlar

Tarihi eserlerin 3B modellenmesi ve web ortamında sunulması hem korunması hem de dijital bir kopyasının oluşturulması açısından önemlidir. Basit el kamerası ile çekilen fotoğraflarla yersel fotogrametri yöntemini kullanarak oluşturulan yüksek çözünürlüklü 3B modeller sayesinde yapılar üzerinden gerekli ölçüler alınabilmekte, ihtiyaç duyulması halinde röle ve çizimleri yapılabilir. Ayrıca elde edilen modelin Sketchfab gibi 3B model görüntüleme ortamına aktarılması yapıların çevrimiçi olarak tüm dünyaya sunulmasını mümkün kılmaktadır. Bu sayede kullanıcılar dünyanın dört bir yanından tarihi eseri detaylı bir şekilde inceleme ve analiz etme fırsatına sahip olmaktadır. Bu çalışmada örnek olarak tarihi sütunun modellenmesi ve 3B modelin web ortamında görselleştirilmesi ele alınmıştır. Yöntem basit bir şekilde tüm tarihi yapılara uygulanarak çevrimiçi bir sahne oluşturulabilir ve dünya çapında sanal bir müze gezintisi fırsatı sunulabilir. Bu çalışmanın en büyük kısıtlaması yöntemin yalnızca küçük yapılar için uygulanabilir olmasıdır. Daha büyük yapıların modellenmesinde modelin üst kısmı ve çatısının fotoğrafı çekilemeyeceği için modelde boşluklar oluşacaktır. Bu nedenle daha büyük yapıların modellenmesinde İnsansız Hava Aracı (İHA) ile elde edilen fotoğrafların kullanılması modelin bütünlüğü açısından önem arz etmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Nijkamp, P. (2012). Economic valuation of cultural heritage. In *The economics of uniqueness: Investing in historic city cores and cultural heritage assets for sustainable development* (pp. 75–103).
- [2] Blake, J. (2000). On defining the cultural heritage. *International & Comparative Law Quarterly*, 49(1), 61–85. <https://doi.org/10.1017/S002058930006396X>
- [3] Sullivan, A. M. (2015). Cultural heritage & new media: A future for the past. *John Marshall Review of Intellectual Property Law*, 15, 604.
- [4] Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.004>
- [5] Güleç, S. A. (2007). Yersel fotogrametri yöntemi ile röle ve alım tekniğinin taş kapılarda uygulanışı-Konya örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Pamuk, B. (2022). RGB, multispektral ve termal görüntülerden arkeolojik mirasın fotogrametrik analizi: Troya müzesi lahitleri örneği. Yüksek

- Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [7] Pakben, U. (2013). Tarihi yapıların röle ve analizlerinde kullanılan ileri belgeleme teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Tuno, N., Mulahusić, A., Topolja, J., & Savić, M. (2024, June). Preservation of cultural heritage architecture by 3D printing and realistic 3D models. In *International Conference "New Technologies, Development and Applications"* (pp. 646–653). Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24959-9\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24959-9_72)
- [9] Zheng, C., Chen, Z., Zhang, Y., & Guo, Y. (2022). Does vivid imagination deter visitation? The role of mental imagery processing in virtual tourism on tourists' behavior. *Journal of Travel Research*, 61(7), 1528–1541. <https://doi.org/10.1177/00472875211064962>
- [10] Zhang, G., & Kou, X. (2022). Research and implementation of digital 3D panoramic visual communication technology based on virtual reality. *International Journal of Communication Systems*, 35(5), e4802. <https://doi.org/10.1002/dac.4802>
- [11] Lv, Z., Shang, W. L., & Guizani, M. (2022). Impact of digital twins and metaverse on cities: History, current situation, and application perspectives. *Applied Sciences*, 12(24), 12820. <https://doi.org/10.3390/app122412820>
- [12] King, L., Stark, J. F., & Cooke, P. (2016). Experiencing the digital world: The cultural value of digital engagement with heritage. *Heritage & Society*, 9(1), 76–101. <https://doi.org/10.1080/2159032X.2016.1246156>
- [13] Tsipi, L., Vouyioukas, D., Loumos, G., Kargas, A., & Varoutas, D. (2023). Digital Repository as a Service (D-RaaS): Enhancing access and preservation of cultural heritage artifacts. *Heritage*, 6(10), 6881–6900. <https://doi.org/10.3390/heritage6100369>
- [14] Büyükkuru, M. (2024). Kültürel mirasın aktarımında dijital teknolojilerin kullanımı. *Neuşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(İhtisaslaşma), 134–150.
- [15] Ulvi, A. (2020). Importance of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the documentation of cultural heritage. *Turkish Journal of Engineering*, 4(3), 104–112. <https://doi.org/10.31127/tuje.661732>
- [16] Canon Inc. (n.d.). Canon Digital IXUS 60. Retrieved November 19, 2024, from <https://global.canon/en/c-museum/product/dcc621.html>

- [17] Schonberger, J. L., & Frahm, J. M. (2016). Structure-from-motion revisited. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4104–4113). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.445>
- [18] Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 40(2), 247–275. <https://doi.org/10.1177/0309133315615805>



© Author(s) 2024.

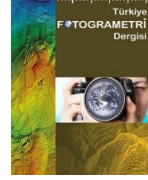
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



### Kriminal Olay Yerlerinin Dijital Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Kullanımı

Dilara Özden Gür <sup>1\*</sup>, Murat Yakar <sup>2</sup>

- Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (dilaraozdengur33@gmail.com)
- Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (myakar@mersin.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
dilaraozdengur33@gmail.com

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Gür, D. Ö., & Yakar, M. (2024). Kriminal Olay Yerlerinin Dijital Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 54-70.

Geliş : 30.11.2024  
Revize : 07.12.2024  
Kabul : 13.12.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

#### Özet

Bu çalışma, kriminal olay yerlerinin dijital olarak belgelenmesi ve analizinde yersel lazer tarayıcı teknolojisinin etkinliğini değerlendirmektedir. Olay yerinin doğru, hızlı ve detaylı bir şekilde belgelenmesi, adli bilimlerde delil bütünlüğünün korunması ve olayın yeniden yapılandırılması açısından kritik öneme sahiptir. Çalışmada, FARO Focus S350 modeli bir YLT cihazı kullanılarak örnek bir suç mahalli detaylı bir şekilde taranmış ve elde edilen 3B veriler analiz edilmiştir. Sonuçlar, YLT teknolojisinin yüksek hassasiyet ve doğruluk sunduğunu, olay yerindeki tüm detayları eksiksiz bir şekilde kaydettiğini göstermiştir. Ayrıca, bu teknoloji, adli süreçlerde görselleştirme ve analizleri desteklemek için güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir. YLT'nin sağlayabildiği detaylı ve hızlı veri toplama kapasitesine rağmen, parlak yüzeylerde ölçüm hataları ve cihaz maliyeti gibi sınırlamalar dikkat çekmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, tamamlayıcı teknolojilerin entegrasyonu ve cihaz performansını artıracak yazılım geliştirmelerinin yapılması önerilmektedir. Bu bağlamda YLT, adli bilimlerde dijital dönüşümün önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel lazer tarama, kriminal olay yeri, dijital belgeleme, 3B modelleme, adli bilimler.

### Utilization of Terrestrial Laser Scanning in the Digital Documentation of Crime Scenes

\*Corresponding Author:  
dilaraozdengur33@gmail.com

#### Research Article

**Citation:** Gür, D. Ö., & Yakar, M. (2024). Utilization of Terrestrial Laser Scanning in the Digital Documentation of Crime Scenes. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 54-70 (in Turkish).

Received : 30.11.2023  
Revised : 07.12.2024  
Accepted : 13.12.2024  
Published : 31.12.2024

#### Abstract

This study evaluates the effectiveness of terrestrial laser scanning (TLS) technology in digital documentation and analysis of crime scenes. Accurate, fast, and detailed documentation of crime scenes is critical for preserving evidence integrity and reconstructing events in forensic investigations. In this study, a FARO Focus S350 TLS device was utilized to scan a simulated crime scene in detail, and the resulting 3D data were analyzed. The findings demonstrate that TLS technology provides high precision and accuracy, capturing all details of the crime scene comprehensively. Moreover, this technology is considered a powerful tool for supporting visualization and analysis in judicial processes. Despite its detailed and rapid data acquisition capabilities, limitations such as measurement errors on reflective surfaces and the high cost of devices were noted. Future studies are recommended to explore the integration of complementary technologies and the development of software to enhance device performance. In this context, TLS emerges as a significant component of the digital transformation in forensic science.

**Keywords:** Terrestrial laser scanning, crime scene, digital documentation, 3D modeling, forensic science.

## 1. Giriş

Kriminal alanlar, işlenmiş bir suçun izleri, delilleri ve sonuçlarıyla birlikte ele alınarak, kolluk kuvvetleri ve olay yeri inceleme ekipleri tarafından detaylı bir şekilde değerlendirilen, adaletin sağlanmasına yönelik kritik çalışma alanlarından biridir [1]. Bu alanlarda yapılan incelemeler, suçun tam olarak aydınlatılması ve suçla ilişkili bireylerin adalet önünde hesap vermesini sağlamak açısından hayati öneme sahiptir [2]. Kriminal incelemelerde, suçun çözülmesi için yanıtlanması gereken "5N 1K" (ne, kim, neden, nerede, ne zaman ve nasıl) sorularına odaklanılmaktadır [3]. Bu soruların doğru yanıtlanması, suçun aydınlatılmasına ve olayın en doğru şekilde çözüme kavuşturulmasına olanak tanımaktadır [4].

Kriminal alanda gerçekleştirilen adli analizler, belirli suçların çözümüne yönelik soruşturmaların önemli bir bileşenidir [5]. "Olay yeri incelemesi" terimi, suç mahallinin koordineli ve sistematik şekilde incelenmesini ifade eder [3]. Bu incelemeler, olay yeri inceleme uzmanları, adli kimlik tespit memurları, adli tabipler ve diğer uzmanlardan oluşan ekipler tarafından yürütülmektedir [6]. Müdahale edilen olaylar arasında cinayet, kundaklama ve ölüm ya da ağır yaralanmayla sonuçlanan kazalar yer almaktadır [7]. Bazı durumlarda, soruşturma kapsamına cezai ihmalkârlık da dahil olabilmektedir.

Kriminal alanlar, doğası gereği dinamik ve değişken ortamlardır [8]. Bir suç işlendiğinde, olay yeri hızla kirlenmeye başlayarak delillerin bozulmasına karşı savunmasız hale gelir [9]. Kanıtlar toplandıkça ve olay yeri orijinal haline döndürüldükçe, olay yerinin tahrip edilmesi kaçınılmazdır. Çoğu zaman ikinci bir belgeleme veya kanıt toplama fırsatı bulunmamaktadır [10]. Bu bağlamda, tek amacı meydana gelen olayları yeniden yapılandırmak ve delil toplamak olan polis birimleri için, olay yerinin güvenliği ve incelemenin zamanlaması büyük önem taşımaktadır [11].

Soruşturma süreci genellikle kanıt niteliğindeki görüntülerin veya nesnelerin analiz için bilimsel uzmanlara, yargılama sürecinde ise adli makamlara iletilmesini gerektirmektedir [12]. Teknolojinin her geçen gün hızla gelişmesi, suçların çözümünde kullanılan geleneksel yöntemlerin yerini daha ileri ve bilimsel tekniklerin almasına olanak sağlamıştır [13]. Adli bilimler disiplini, adaletin tesis edilmesinde yararlı olabilecek her türlü bilimsel bilgi ve teknolojik yeniliği kapsayan geniş bir alan haline gelmiştir [14]. Günümüzde antropoloji, botanik, diş hekimliği, psikoloji gibi farklı bilim dalları da adli bilimler bir parçası olarak, adalet ve yargı sistemine hizmet sunmakta ve kriminal olayların aydınlatılmasında görev almaktadır [15]. Adli bilimler, olayların çözümünde çok sayıda bilim dalını ve disiplinler arası iş birliğini bir araya getirerek adalet sistemine değerli

katkılar sağlamaktadır. Suçların çeşitlenmesi ve suç işleme yöntemlerinin farklılaşması, bu alandaki bilimsel yöntemlerin sürekli olarak gelişmesini zorunlu hale getirmiştir [16]. Artık adaletin sağlanabilmesi için en güncel bilimsel yaklaşımlar ve teknolojiler kullanılmakta, bu süreçlerde veri analizine, üç boyutlu (3B) modellemelere ve çeşitli ölçüm tekniklerine dayalı modern araçlar tercih edilmektedir [17, 18]. Nesnelere hakkında veri elde etmek, bu verileri bilgisayar ortamında değerlendirerek bilgiye dönüştürmek ve nesnelerin birebir 3B görüntülerini oluşturmak günümüzde giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir [19, 20]. Gerçek dünyayı simüle etme, modelleme, animasyon oluşturma ve alan görselleştirme gibi konumsal uygulamalar, yalnızca 3B çalışmalar sayesinde mümkün olmaktadır [21, 18]. Özellikle yüksek hassasiyette yükseklik verisine duyulan ihtiyaç, teknolojik gelişmelerle birlikte hızla artmaktadır [22, 23, 24].

Adli bilimler, suça karışmış kişileri, yerleri ve olayları anlamaya ve aralarındaki ilişkileri açığa çıkarmaya çalışan, bilimsel analizlere dayanan bir disiplindir [25]. Bu geniş disiplin içinde, suçu bilimsel yöntemlerle aydınlatmaya odaklanan kriminalistik ile suç davranışlarının nedenlerini araştıran kriminoloji, adli bilimlerin en önemli iki alt dalını oluşturmaktadır [25, 26]. Kriminalistik, "bilimsel polislik" olarak tanımlanır ve suçların çözümünde kimya, biyoloji ve fizik gibi pozitif bilimlerin tekniklerinden yararlanır. Bununla birlikte, kriminalistik yalnızca suçları bulmakla değil, masumiyetin kanıtlanmasıyla da yakından ilişkilidir. Olay yerindeki en küçük ipucu bile, suçsuz bireylerin masumiyetini ortaya koymak için kritik bir kanıt sunabilmektedir [27]. Fransız bilim insanı Edmond Locard'ın ünlü "Her temas bir iz bırakır" ilkesi, modern kriminalistikte hâlâ geçerliliğini koruyan temel prensiplerden biridir. Bu ilke, her suçun geride bir iz bıraktığını ve en küçük temasın bile olay yerinde izler bırakabileceğini ifade eder [26]. Bu anlayış, kusursuz bir suçun mümkün olmadığını vurgulamakta ve kriminalistik bilim dallarının daha etkin bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır.

Kriminalistik alanının tarihine bakıldığında, modern olay yeri incelemesinin temellerinin 19. yüzyılda atıldığı görülmektedir. Kriminalistik, Avusturyalı hukukçu ve kriminolog Dr. Hans Gross'un çalışmalarıyla bilimsel bir alana dönüşmüştür [28]. Dr. Gross, suç profillemesinin kurucusu olarak kabul edilmekte olup "kriminalistik" kavramını da ilk kez ortaya atan kişidir. Onun 1893'te yayımladığı "Kriminal Soruşturmalar Pratik Bir Ders Kitabı" adlı eseri, kriminalistik için önemli bir temel oluşturmuştur. Ayrıca, Fransız hekim ve kriminolog Dr. Alexandre Lacassagne ve öğrencisi Edmond Locard, suç incelemelerinde bilimsel prensiplerin

kullanılmasını destekleyen önemli çalışmalara imza atmışlardır [29]. Locard'ın "Her temas bir iz bırakır" sözü, modern adli bilimlerin kurucu ilkelerinden biri haline gelmiş ve günümüzde adli bilimciler tarafından temel bir prensip olarak benimsenmiştir.

Gelişen bilim ve teknoloji, kriminalistik ve adli bilimler alanlarında önemli ilerlemelere zemin hazırlamaktadır [30]. Günümüzde, adli bilimlerdeki teknik ve bilimsel gelişmeler hızlı bir şekilde devam etmekte ve suç incelemeleri alanında daha detaylı, hassas ve güvenilir veriler elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yersel Lazer Tarama (YLT) cihazlarının kriminal alanlarda kullanımı da bu teknolojik ilerlemenin bir örneği olarak dikkat çekmektedir [31]. Bu cihazlar, olay yerinin detaylı 3B modellerini oluşturarak olay yerinin en küçük ayrıntısına kadar incelenmesine olanak tanımakta ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha hassas ve hızlı bir veri toplama süreci sunmaktadır [32]. Adli olayların çözümlenmesinde en güncel teknolojilerin kullanılması artık yalnızca bir seçenek değil, aynı zamanda adaletin sağlanması açısından bir zorunluluk haline gelmiştir.

YLT cihazları, azınlıkta olan ancak sayıları giderek artan polis departmanlarında olay yeri dokümantasyonu için tercih edilen bir araç haline gelen sofistike ölçüm cihazlarıdır [33, 34, 35]. Bu kuruluşların YLT cihazlarını adli soruşturma aracı olarak kullanmaya başlaması nispeten yakın bir tarihte, yaklaşık olarak son 15 yıl içinde gerçekleşmiştir. Dahası, bu tür kanıtların sınırlı sayıda yargı alanında mahkemelere kabul edilmesi de nispeten yeni bir olgudur. YLT teknolojisi, bir ortamın gerçek durumunu çıkarma ve bunu mükemmele yakın bir yansıma olarak yeniden üretme yeteneğine sahiptir. Bu cihazlar, çevredeki ortamın boyutlarını ve fiziksel özelliklerini yakalamak için kontrollü lazer darbeleri kullanmaktadır. YLT'den elde edilen veriler, bilgisayar yazılımı kullanılarak olay yerinin yerinde ölçekli modellerine dönüştürülebilmekte böylece nesnelerin ve alanın doğru bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, polis hipotezleri olay yerinin sanal bir rekonstrüksiyonu içinde ampirik testlere tabi tutulabilmektedir. Bu çalışmada tartışılacağı üzere, bu tür kanıtlar ceza yargılamalarında gerçeklerin ortaya çıkarılması bağlamında önemli bir değere sahip olabilmektedir.

Bu araştırmanın temel amacı, adli soruşturma bağlamında YLT cihazlarının faydalarını ve bu cihazlardan elde edilen verilerin kanıt olarak kullanılabilmesi için yasal senaryoları değerlendirmektir. Bu kapsamda çalışmada, kullanım ve taşıma kolaylığı sunan FaroFocus S350 model YLT cihazı tercih edilmiştir. Araştırma, YLT'nin kriminal alanlardaki kullanımına ilişkin mevcut literatürün kapsamlı bir şekilde incelenmesini ve bütünleştirilmesini

gerektirmektedir. Ancak, bu alanda YLT ölçümlerinin doğruluğunu destekleyen kanıtların azlığı, polis güçlerinin bu cihazları adli bağlamlarda nasıl kullandığına dair araştırmaların sınırlılığı ve mevcut literatürdeki boşluklar dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, YLT'nin kriminal alanlarda kullanım potansiyelini ortaya koymak amacıyla kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmış, ayrıca örnek bir suç mahalli incelemesinde YLT'nin kullanımı ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 1.1. Olay Yeri Adli İncelemelerinde Lazer Tarama Yöntemi Kullanılması

Olay yeri incelemesinin geçmişi, Antistius'un M.Ö. 44 yılında önde gelen Romalı komutan Julius Caesar'a yaptığı otopsiye kadar uzanmaktadır [2]. Modern çağda, bir suçun işlenme nedenini ve şeklini belirlemek amacıyla bir olay yerinin adli incelemesi yapılmaktadır. Bir kanıtın, tanıkların ifadelerini güçlendirmek amacıyla duruşma boyunca kullanılabilmesi düşünülmektedir [36]. Bir olay yerini ele almanın geleneksel yöntemi, genellikle görüntü kaydetmek amacıyla kullanılan bir Dijital Tek Lensli Refleks kamera kullanımını içermektedir [37]. Söz konusu görüntünün daha fazla analiz için sınırlı bir potansiyel sunduğu kabul edilmelidir. Ayrıca soruşturmacının varlığı, insan hatasının bir sonucu olarak önemli kanıtların gözden kaçmasına yol açarak araştırmanın doğruluğunu ve bütünlüğünü potansiyel olarak etkileyebilmektedir [38]. Geleneksel bir olay yeri incelemesinin en önemli sorunlarından biri, genellikle birden fazla kurumun katılımını içeren sürecin tamamlanması için gereken zamandır. Süreç doğru şekilde yürütülmezse bu durum potansiyel olarak delillerin kirlenmesine yol açabilmektedir. Lazer tarayıcı gibi bir teknolojinin kullanılmasının olay yerinin gözlemlenmesini kolaylaştırarak delillerin elde edilmesini, bölgenin özelliklerinin ve niteliklerinin tanımlanmasını ve nispeten kısa bir zaman dilimi içinde kirlenmenin önlenmesini sağlaması muhtemel görünmektedir [39]. Operasyon tek bir kişi tarafından yürütülebileceğinden, olay yerinde çok sayıda personele duyulan ihtiyaç azalmaktadır. Lazer tarama cihazı tarafından üretilen nokta bulutu verileri özel yazılımlar kullanılarak analiz edilebilmekte ve bu da olay yerinin incelenmesine yardımcı olabilmektedir. Lazer tarayıcılar milyonlarca noktanın kısa sürede taranması için temassız bir alternatif sunarak replikalara ihtiyaç duymadan olay yerinin bir modelini sağlamaktadır [40]. Bu işlevsellik lazer tarayıcıların temassız özelliklerinin doğasında vardır. Lazer tarayıcılar, Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (LightDetectionandRanging/LiDAR) ölçme prensibini kullanmaktadır.

Işık Algılama ve Mesafe Belirleme'nin kısaltması olan LiDAR terimi, ışık hızından ve ışığın bir verici ile alıcı arasındaki mesafeyi kat etmesi için gereken süreden yararlanarak mesafeleri belirlemek için lazer ışığını kullanan bir tekniği ifade etmektedir. Işık hızının sabit ve zamanın değişken olduğu göz önüne alındığında, aletler arasındaki mesafeler  $d = (ct)/2$  basit formülü kullanılarak tahmin edilebilmektedir; burada (c) ışık hızını, (t) uçuş süresini ve (d) mesafeyi temsil etmektedir. LiDAR teknolojisi, nesnelere temas etmeden onların 3B modellerini oluşturma imkânı sunarak bu alandaki çalışmaların temelini oluşturmaktadır [41, 42]. Teknolojideki hızlı ilerlemeler, LiDAR kullanımını haritacılık alanına da entegre etmiştir [43, 44-51]. Geleneksel ölçüm yöntemlerine alternatif bir çözüm sunan 3B lazer tarayıcılar, mühendislik ölçümlerinin doğruluğunu artırmış ve 3B ölçümlere duyulan güveni pekiştirmiştir [41, 43-48, 52, 53].

LiDAR, kendisi tarafından üretilen yansıyan lazer ışığını algılayan ve gözlemlenen ışık yoğunluğuna ilişkin bilgileri görüntüleyen aktif bir sensör olarak işlev görmektedir [54]. Her iki tarafın da geçerli bir ihtilaf noktası olduğu görülmüştür. Örneğin uçuş süresi ölçüm cihazı, faz kaydırma cihazına kıyasla daha üstün bir doğruluk sergilemektedir; ancak küçük ayrıntıları çözmede daha az etkilidir [55]. Faz kaydırma ölçümleri, değişkenler hesaplanırken zaman gecikmesinin dikkate alınması bakımından uçuş zamanı ölçümleriyle neredeyse aynıdır. Faz kayması ve frekans modülasyonunun (f) aynı frekans ve bağlı genlikteki yansıma ile tanımlandığı kabul edilmektedir. Daha sonra, iletilen ve alınan sinyaller arasındaki uyumsuzluğu tespit etmek mümkün olacaktır [56]. Yukarıda belirtilen değişkenleri belirlemek için t'nin zaman gecikmesini, faz kaymasını ve f'nin frekans modülasyonunu temsil ettiği denklem kullanılabilir. Mesafeyi ifade eden d değeri,  $d = (c \cdot t)/2$  denklemi kullanılarak önceden belirlenen zaman gecikmesinden (t) hesaplanabilmektedir; burada c ışık hızını ve d mesafeyi temsil etmektedir.

Kısaca LiDAR, lazer tarama cihazlarıyla veri toplayan bir teknolojidir ve esas olarak lazer ışınları gönderip geri dönüş süresini ölçerek mesafe hesaplamaktadır [57]. Bu süreçte, yüzeylerin konum ve özelliklerini hassas şekilde kaydederek böylece 3B modelleme yapılmasına olanak tanımaktadır. LiDAR cihazları, olay yeri incelemesi gibi alanlarda, karmaşık ve geniş alanların hızlı bir şekilde analiz edilmesi için idealdir. LiDAR'ın olay yerinde kullanımında en çok kullanılan yöntem, YLT yöntemidir.

YLT, polis teşkilatlarının çalışmalarını daha verimli bir şekilde tamamlamalarını sağlamaktadır. Bu teknolojinin doğruluktan ödün vermeden sunduğu gelişmiş verimlilik, polis teşkilatlarının zamanından ve kaynaklarından önemli ölçüde tasarruf edilmesini

sağlayabilmektedir. Ayrıca, YLT cihazlarının kullanımı kolluk kuvvetlerine olay yerinde kaydedilen bilgilerle ilgili olarak daha fazla esneklik sağlamaktadır. Baber ve Butler (2012), kriminal soruşturmacının uzmanlık seviyesinin olay yerinde bulunan materyalin kanıt değerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir [58]. Bununla birlikte, uzmanlar bile hataya açıktır; bu insan doğasının doğal bir yönüdür [13]. YLT yöntemi çok geniş bir veri yelpazesini yakalama kapasitesine sahip olduğundan, araştırmacılar olay yeri incelemeyi tamamlayıp alandan ayrıldıktan sonra gözden kaçırmış olabilecekleri önemli ölçümlerin genel belgelemeyi etkilemeyeceğinden emin olabilmektedirler. Başka bir deyişle, olay yerinde hangi ölçümlerin yapılması gerektiğinin belirlenmesindeki öznellik azaltılabilmektedir [59] ve YLT yöntemi olay yeri belgelemesi ve yeniden yapılandırma açısından bir güvenlik ağı olarak düşünülebilmektedir [60]. Taramaların en başından itibaren düzgün bir şekilde yapılmış olması ve güncel veri formatlarının erişilebilir kalması koşuluyla, kolluk kuvvetleri aylar ya da yıllar sonra tarama verilerini kolaylıkla tekrar inceleyebilmektedir. Bu tür verilerin sağlamlığı, olay yerinin sonradan anlaşılmasına da yardımcı olmaktadır.

YLT teknolojisi yeni bir buluş değildir. Arazi ölçümü, imalat ve inşaat dahil olmak üzere bir dizi başka alanda kullanılmıştır. Ancak, yaklaşık olarak son 15 yıl içerisinde adli tıp alanına uygulanması yeni bir yaklaşımı temsil etmektedir.

## 1.2. Yersel Lazer Tarama Yöntemi ve Adli Bilimlerde Kullanımı

YLT yöntemi, lazer ışınları kullanarak bir alanın veya yapının 3B modelini oluşturan ileri bir teknolojidir [61]. Sabit bir konumdan yüksek çözünürlükte veri toplamak üzere tasarlanan YLT cihazları, özellikle detaylı ve hassas analizlerin gerektiği alanlarda ideal bir çözüm sunmaktadır. Bu cihazlar, genellikle bir tripod üzerine yerleştirilerek sabit bir noktadan lazer ışınları gönderir ve her bir ışının bir yüzeye çarpıp geri dönme süresini ölçer. Bu süre, ışının aldığı mesafeyi belirlemek için kullanılır ve elde edilen mesafe verileri, "nokta bulutu" (pointcloud) adı verilen bir veri setinde kaydedilir [62]. Bu nokta bulutu, tarama yapılan alanın veya objenin detaylı bir 3B modelini oluşturur. YLT yöntemi, adli bilimlerde çok sayıda önemli kullanım alanına sahiptir [1]. Bu alanların başında olay yeri belgelemesi gelmektedir. YLT teknolojisi, olay yerinin eksiksiz ve hızlı bir şekilde kayıt altına alınmasını sağlar [5]. Elde edilen 3B model, olay yerindeki kanıtların ve nesnelere yerlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Ayrıca, olayın görsel olarak yeniden

canlandırılmasında da bu modelden yararlanılabilir [63]. Örneğin, kurbanın veya şüphelinin olay anındaki pozisyonları, kanıtların konumu gibi kritik detaylar bu teknoloji sayesinde net bir şekilde ortaya konabilir. Bu durum, mahkeme sürecinde olayın anlaşılmasını kolaylaştırarak görsel bir anlatım sağlar [64].

YLT yönteminin bir diğer önemli avantajı, yüzey ve iz analizine olanak tanmasıdır. YLT cihazları, duvarlardaki darbe izleri veya ayak izleri gibi küçük detayları bile doğru bir şekilde kaydedebilir ve olayın nasıl geliştiğine dair önemli bilgiler sunabilir [65]. Hassas ölçüm yetenekleri sayesinde yüzeylerin ve nesnelerin detaylı analizi yapılabilir [66]. Ayrıca, YLT ile elde edilen dijital veriler uzun süre saklanabilir ve bu durum, fiziksel kanıtların zamanla bozulması veya yok olması halinde bile dijital kayıtların kullanılabilmesini mümkün kılar [67]. Bununla birlikte, YLT yönteminin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Taranan yüzeyin yapısı ve malzemesi, lazerin yansıma performansını etkileyebilmektedir. Örneğin, parlak veya yansıtıcı yüzeyler ölçümlerde zorluk yaratabilir [68]. Bu durum, tarama sırasında bazı kör noktaların kalmasına neden olabilir [69].

Karasaka ve Beg (2021), çalışmalarında YLT yöntemini bir dizi endüstriyel, mimari ve adli bağlamda kullanmışlardır [70]. Bu uygulamalar arasında camiler, madencilik faaliyetleri, tarihi yapıların modellenmesi ve trafik kazalarında hasar gören araçların analizi yer almıştır. Araştırmacılar, lazer tarama teknolojisinin güçlü, pratik, doğru ve güvenilir çözümler sunduğu için birçok uygulama için kabul edilebilir ve kullanılabilir bir değerlendirme aracı olduğu sonucuna varmışlardır [70]. Araştırmacılar, mesafe ve 3B nokta konum bilgilerine ek olarak, tarama verilerini yazılımla birleştirerek olay yerinin görünümünü taklit eden 3B modeller de elde etmişlerdir. Yazarlar, YLT tekniğinin büyük veri setleriyle karmaşık sahnelerin ayrıntılı modellerini oluşturarak hassas ve güvenilir geometrik ve metrik veriler elde etmede geleneksel ölçme yöntemlerine göre önemli bir avantaj sunduğu sonucuna varmışlardır [70]. Farklı geometrik yapılara sahip özelliklerin YLT yöntemi ile modellenmesi üzerine yapılan bu çalışmada yazarlar, YLT yönteminin kriminal alanlarda kullanımını da incelemişlerdir. Ayrıca yazarlar, bu yöntemin kapsamlı bir 3B nokta bulutu ve renkli görüntülerin eşzamanlı olarak yakalanmasıyla bir suç mahallinin hızlı bir şekilde taranmasını sağladığını belirtmişlerdir [70]. Yazarlar, 3B adli belgeleme yönteminin tüm olay yerinin kapsamlı bir şekilde belgelenmesini sağladığını ileri sürmüşlerdir [70]. Yazarlar, adli tıp uzmanlarının daha kesin ve güvenilir sonuçlar elde ederken zamandan tasarruf etme potansiyeli de dahil olmak üzere bu yaklaşımın avantajlarının altını çizmişlerdir. Ayrıca, yazarlar adli bir vakayı örnekleyen bir suç mahalli

oluşturarak 6\*12 m<sup>2</sup>'lik bir oda içerisinde dört farklı istasyondan lazer taraması gerçekleştirmişlerdir [70]. Daha sonra araştırmacılar, olay yerinin nokta bulutlarını ve 3B modelini oluşturmak için FaroSCENE yazılımını kullanmışlardır. Her bir taramayı ayrı ayrı işledikten sonra, olay yerinin kapsamlı bir nokta bulutu temsilini elde etmek için dört tarama veri setini birleştirmişlerdir. Bu birleştirilmiş nokta bulutu, manuel birleştirme sonuçlarına göre en az %81,9'luk bir örtüşme oranı ve 0,6 mm'lik bir doğruluk hatası sergilemiştir.

Diğer avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Ölçüm çalışmasıyla ilgili maliyetlerde kayda değer bir azalma sağlamaktadır.
- Proje önemli ölçüde daha kısa bir zaman diliminde, birkaç günde tamamlanabilmektedir.
- Son derece karmaşık, erişilemez ve tehlikeli nesnelere ve geleneksel araştırma tekniklerinin uygulanmadığı alanları uzaktan araştırma kapasitesi sunmaktadır.
- Ayrıca, tarama işlemleri ortam aydınlatmasından bağımsız olarak gece de gerçekleştirilebilmektedir.
- Tarama kapsamlı olup ölçüm altındaki nesne veya alanla ilgili tüm ilgili verileri tek bir işlemde yakalamaktadır. Bu, yeni verilere ihtiyaç duyulması halinde, taramanın gerçekleştirildiği alana geri dönmenin gerekli olmadığı anlamına gelmektedir. Bu da kullanıcının tarama sonuçlarının doğruluğuna olan güvenini artırmaktadır.
- Hem şu anda hem de gelecekte çok amaçlı veri kullanım kapasitesi bulunmaktadır [71].

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, kriminal alanların belgelenmesi amacıyla menzil tabanlı yöntemlerden biri olan YLT tekniği kullanılmıştır. Kriminal incelemeler kapsamında YLT cihazlarının kullanımının faydalarını göstermek amacıyla örnek bir kapalı suç mahalli oluşturulmuş ve suç alanı FARO Focus S350 model YLT cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra, elde edilen veriler bilgisayardaki FaroScene programına aktarılmış ve burada suç alanının 3B nokta bulutu veya 3B modeli oluşturulmuştur. Çalışmada taşınabilir ve kullanıcı dostu olan FARO Focus S350 YLT cihazı kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde uygulamada kullanılan ekipman, belgeleme için kullanılan metodoloji ve çalışmanın doğruluğuna ilişkin bir analiz sunulmaktadır.

### 2.1. Yersel Lazer Tarama Yöntemi

Geleneksel ölçme teknikleriyle karşılaştırıldığında, YLT yöntemi, 3B nokta bilgilerinin hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlayan modern bir ölçüm tekniğidir. Nesnelerin 3B modelleri, nokta



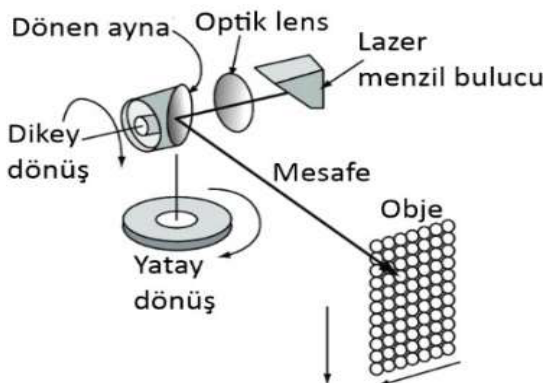
bulutlarının kaydedilmesi, çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ve gereksiz verilerin temizlenmesi yoluyla oluşturulmaktadır [70]. YLT cihazları genellikle sabit bir platform üzerinde konumlandırılmakta ve özellikle büyük olmayan nesnelere veya alanların taranması için kullanılmaktadır.

YLT cihazlarının ölçüm metodolojisi, lazer ışığının cihaz ile ölçülen nesne arasındaki gidiş-dönüş süresinin ölçülmesine dayanır. Bu işlem, nesnenin 3B konumsal verilerinin elde edilmesini sağlar [72]. YLT cihazları, lazer ışını hem yatay hem de dikey eksenlerde iletebilen özel bir mekanizmayla donatılmıştır. Ölçüm işlemi sırasında, YLT cihazının elektronik ünitesinden yayılan lazer ışını, cihazın gövdesindeki optik üniteye çarpar ve buradan yansarak cihazdan çıkar. Çıkan ışın, yatay eksenle belirli bir açı yaparak ilerler. Tarama işlemi esnasında, cihaz dikey eksen etrafında artan açılarla döner ve veri toplamaya devam eder. Bu işlem, tarama işlemi tamamlanuncaya kadar sürmektedir ve sürecin ayrıntıları Şekil 1'de gösterilmiştir [73, 74].

Her bir taramanın tamamlanmasının ardından, elde edilen veriler kullanıcıya bir nokta bulutu şeklinde sunulmaktadır. Yukarıda bahsedilen nokta bulutundaki her bir lazer noktası tarayıcıda kutupsal koordinatlarda, özellikle  $(r, \varphi, \theta)$  saklanmaktadır. Söz konusu kutupsal koordinatların kartezyen koordinatları  $(x, y, z)$  tarayıcı yazılımı tarafından hesaplanmakta ve kullanıcıya Kartezyen koordinatlar şeklinde sunulmaktadır [76, 77, 72]. YLT cihazı tarafından ham haliyle alınan kutupsal koordinatların kartezyen koordinatlara dönüştürülmesi için kullanılan matris Denklem 1'de gösterilmektedir.

$$x_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (1)$$

Bu denklemde Lazer tarayıcı tarafından ham olarak alınan kutupsal koordinatlar, kartezyen koordinatlara dönüştürülürken kullanılan matris.



Şekil 1. YLT cihazı çalışma prensibi şeması [75].

## 2.2. Yersel Lazer Tarayıcıların Ölçme Prensipleri

YLT cihazlarının ölçme prensiplerine göre sınıflandırılmasında belirlenen kriterlere uygun olarak, YLT cihazları faz farkı tarayıcıları, uçuş zamanı (time of flight) ölçümüne dayalı darbeli tarayıcılar ve optik üçgenleme (triangulasyon) tarayıcıları olarak kategorize edilmektedir. Bunlara ek olarak hibrit sistemler de mevcuttur.

### 2.2.1. Faz Farkı Tabanlı

Faz farkı tabanlı YLT cihazlarının temel prensibi, lazer ışınındaki faz değişikliklerinin, özellikle bir referans ile ölçülen sinyal arasındaki faz farkının ölçülmesi yoluyla mesafenin hesaplanmasına dayanır. Bu yöntem, "toplam istasyonlar" olarak da bilinir. İletilen lazer ışını eşleştirilerek, mesafe iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanım açısından bu yöntem, uçuş zamanı yöntemine benzerlik gösterir; ancak daha karmaşık sinyal analizleri uygulandığından sonuçlar genellikle daha doğrudur. Bu yöntem, kısa mesafelerde yüksek hassasiyet sağlar ve özellikle arkeoloji, mimari ve inşaat gibi detaylı analiz gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu cihazlar diğer yöntemlere kıyasla daha karmaşık ve maliyetlidir [78].

### 2.2.2. Uçuş Zamanı Tabanlı

Uçuş zamanı tabanlı YLT cihazları, lazer ışınının hedef yüzeye gidiş ve geliş süresinin ölçülmesiyle mesafenin hesaplanmasına dayanır. Lazer ışını bir nesneye yönlendirilir ve verici ile nesne arasındaki mesafe, sinyalin yüzeyden geri dönmesi için geçen süreye göre belirlenir. Bu yöntem, total station teknolojisiyle benzer prensipler taşır. Ancak total stationlar, ölçüm oranlarının yavaşlığı ve sinyal işleme süreçlerinin karmaşıklığı nedeniyle daha az etkilidir. Uçuş zamanı yöntemi, uzun mesafelerde oldukça etkili bir çözüm sunar. Ancak, doğruluk seviyesi faz farkı yöntemine göre daha düşüktür. Bu nedenle, bu yöntem jeolojik, coğrafi ve büyük ölçekli yüzey ölçümleri için idealdir [78].

### 2.2.3. Optik Üçgenleme Tabanlı

Optik üçgenleme yöntemi, lazer ışını hedef yüzeye belirli bir açıyla yönlendirme ve yansıyan ışını bir görüntü sensörüyle tespit etme prensibine dayanır. Bu yöntem, yakın mesafelerde olağanüstü hassasiyet sunar ve bu nedenle endüstriyel uygulamalarda ve kalite kontrolde sıklıkla kullanılır. Optik üçgenleme yöntemi, tek kamera çözümü ve çift kamera çözümü olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Tek Kamera Çözümü:** Temel bir ışın yayma mekanizmasından oluşur. Lazer ışını, cihazdan belirli açılarla nesneye yönlendirilir ve lazer noktaları, bir şarj bağlantılı cihaz (CCD) kamerası tarafından tespit edilir. Yansıtıcı yüzey elemanlarının 3B koordinatları, lazer ışınının oluşturduğu üçgenin geometrisinden hesaplanır. Bu yöntem, özellikle kısa mesafelerde yüksek hassasiyet gerektiren durumlar için uygundur [78].

- **Çift Kamera Çözümü:** Bu çözümde, iki CCD kamerası ve özel bir ışık projektörü kullanılır. Projektör, hareketli ışık şeritlerinden oluşan bir ışık hattı üretir. Geometri, tek kamera prensibiyle aynıdır ve benzer doğruluk seviyeleri sağlar. Ancak bu sistemler genellikle yüksek nokta oranları ve gerçek zamanlı 3B koordinat üretiminde yetersiz kalabilir. Yine de bu yöntem, geliştirilmesi durumunda diğer YLT cihazlarına alternatif olarak kullanılabilir [78].

### 2.3. Çalışma Alanı

Bu çalışma, bir iç mekân örnek suç mahallinin belgelendirilmesi ve analiz edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, toplamda yaklaşık 16.885 m<sup>2</sup> alana sahip bir odadır (Şekil 2). Oda, beyaz duvarlara, bir adet pencereye ve bir depolama alanına (arşiv odası) sahiptir. Oda planı üzerinde belirtilen diğer unsurlar arasında, bir dolap, klima ünitesi ve giriş kapısı bulunmaktadır.

Araştırmanın gerçekleştirildiği odanın merkezinde, yüzüstü yatmış bir cansız manken yerleştirilmiştir. Bu manken, olası bir suç mahallindeki maktulü temsilen kullanılmıştır. Ayrıca, cinayet silahı olarak yorumlanabilecek çeşitli nesnelere stratejik olarak sahaya eklenmiştir. Manken, plastik malzemeden üretilmiş olup, lazer tarama sırasında yansımaların oluşmasını önlemek amacıyla özel olarak tasarlanmış koyu renkli giysiler ile kaplanmıştır.

Bu düzenleme, lazer tarama teknolojisi kullanılarak olay yerinin 3B modelleme ve belgeleme işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır.

Çalışma alanı düzenlemesi, gerçek bir olay yeri analizine benzer şekilde oluşturulmuş ve bu yöntemlerin uygulamadaki etkinliği test edilmiştir.

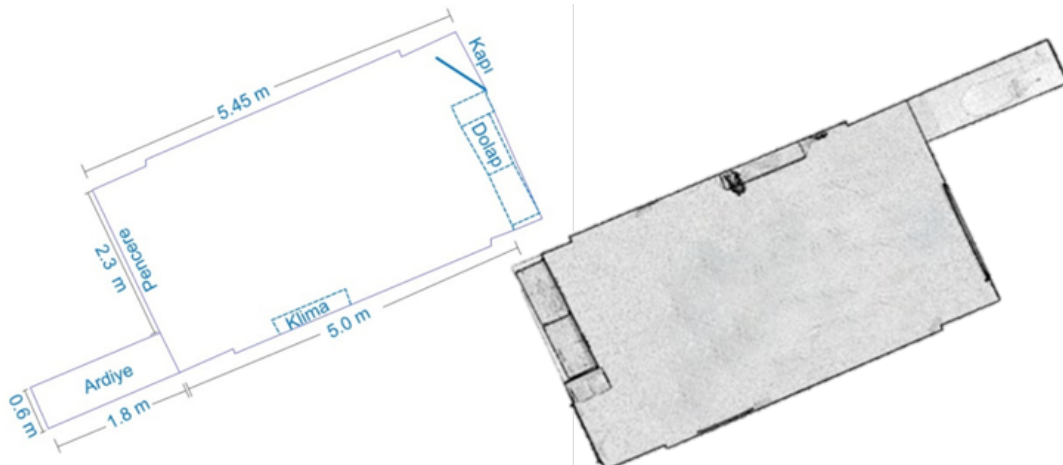
### 2.4. Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı ve Veri Toplama

Bu çalışmada, olay yeri analizinin detaylı bir şekilde belgelendirilmesi amacıyla FARO Focus S350 YLT cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). Cihaz, yüksek hassasiyeti, geniş tarama kapasitesi ve kompakt tasarımı sayesinde tercih edilmiştir. Ayrıca, kolay taşınabilirliği ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde veri toplama sürecinde pratik bir kullanım sunmaktadır. Cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Focus S350 hem iç hem de dış mekanlarda kullanılabilen, zorlu çevresel koşullarda dahi güvenilir sonuçlar sunan bir cihazdır. Geniş tarama görüş açısı, yüksek çözünürlüklü tarama kapasitesi ve dahili sensörlerle donatılmış olması, olay yerinin tüm detaylarının eksiksiz bir şekilde kaydedilmesine olanak tanımıştır. Uçuş süresi ölçüm prensibine dayalı çalışma yapısı, hızlı ve verimli veri toplama imkânı sağlarken, dahili HDR dijital kamera sayesinde tarama sırasında görsel veri entegrasyonu yapılabilmektedir.

Cihaz, toz ve su geçirmezlik özellikleriyle dayanıklılığını artırırken, uzun batarya ömrü sayesinde uzun süreli taramalarda kesintisiz kullanım imkânı sunmaktadır. Bu özellikler, olay yerinin taranması sırasında hem veri kalitesini artırmış hem de sürecin hızlanmasına katkı sağlamıştır.

Veri toplama aşamasında, lazer tarayıcı kullanılarak olay yerinin detaylı bir 3B modellemesi yapılmış ve bu veriler, olay yeri analizinin temelini oluşturacak şekilde işlenmek üzere kaydedilmiştir. Bu süreç, yüksek doğruluk ve kapsamlı belgeleme sağlamak amacıyla etkili bir yöntem olarak uygulanmıştır. Tarama sırasında elde edilen tüm veriler, iş akışının sonraki aşamalarında detaylı analiz ve modelleme için hazırlanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanı metrik bilgileri.



**Şekil 3.** FARO FOCUS S350 YLT cihazının genel görünümü.

**Tablo 1.** FARO FOCUS S350 YLT cihazının teknik özellikleri.

| Özellik                 | Değeri                |
|-------------------------|-----------------------|
| Ağırlığı                | 12.25 kg              |
| Uzunluk Ölçüleri        | 238*358*395 mm        |
| Çözünürlük              | 700 MP                |
| Batarya Adedi           | 2                     |
| Batarya Süresi          | 13 Saat               |
| SD Kart                 | 256 GB                |
| Uygun Çalışma Sıcaklığı | (-20) - 50 C°         |
| Uzaklık Hassasiyeti     | ± 5 mm                |
| Veri Alma Mesafesi      | 0.4 m - 1 km+         |
| Görüş Alanı             | 360° yatay 290° düşey |
| Ölçüm Hızı              | 1 Mn nokta/saniye     |
| Ölçme Prensibi          | Time of Flight        |

Bu çalışmada, olay yerinin 3B olarak belgelenmesi ve detaylı analizinin yapılabilmesi amacıyla uçuş süresi prensibiyle çalışan YLT cihazı, geniş tarama aralığı, yüksek hassasiyet ve hızlı veri toplama kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Tek bir lazer ünitesinden oluşan cihaz, lazer, ayna ve bütünleşmiş kameradan oluşan kompakt yapısıyla, iç mekanlarda yüksek çözünürlüklü taramalar için uygun bir tercih olmuştur. FARO Focus S350, kısa mesafelerdeki yüksek hassasiyeti ve taşınabilirliği sayesinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Cihaz, özellikle binaların ve tarihi eserlerin 3B belgelenmesi, mühendislik projeleri, inşaat kontrolü ve suç mahalleri analizinde

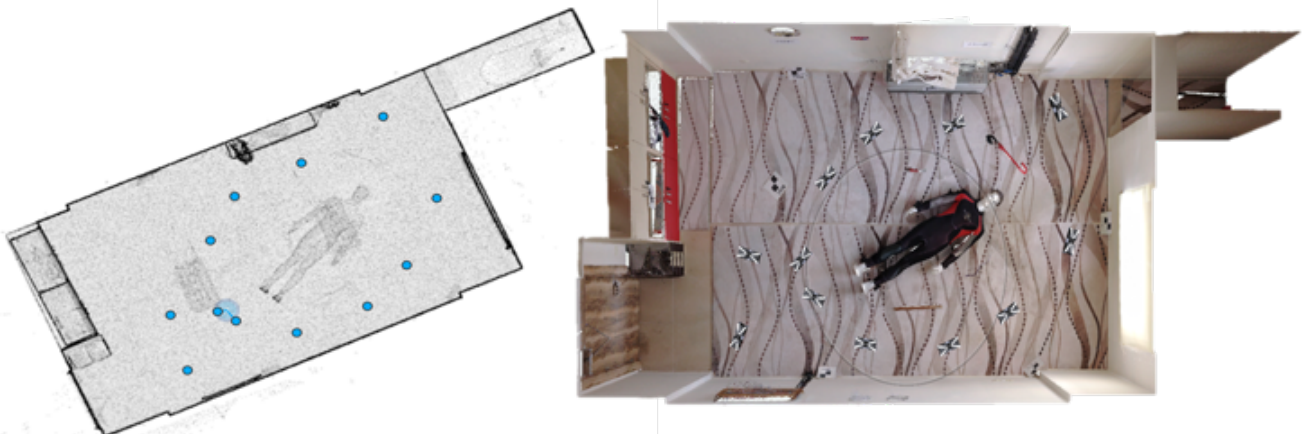
yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da cihazın hassasiyet ve çözünürlük avantajlarından yararlanılarak, örnek suç alanının detaylı bir şekilde belgelenmesi amaçlanmıştır.

Uygulamanın başlangıcında, YLT cihazının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, tarama istasyonlarının sayısı ve yerleşimi dikkatle planlanmıştır. Suç mahallinin merkezine yerleştirilen cansız mankenin ve cinayet silahı olabilecek nesnelerin tüm açılardan doğru bir şekilde taranabilmesi için toplamda 12 istasyon belirlenmiştir (Şekil 4). Bu istasyonlar, tarama alanlarının en az %80 örtüşmesini sağlayacak şekilde dengeli bir biçimde dağıtılmıştır. Böylece, nokta bulutlarında eksik veya hatalı veri oluşmasının önüne geçilmiştir.

Cansız mankenin tüm yönlerden kapsamlı bir şekilde taranmasını sağlamak için cihaz, her istasyonda stratejik olarak konumlandırılmıştır. Yansıtıcı yüzeylerin taramasında cihazın performansını artırmak amacıyla, bu yüzeylere yakın bölgelerde daha sık ve ayrıntılı taramalar yapılmıştır. Örneğin, cansız mankenin çıplak ayaklarının yansıtıcı yüzey özelliği taşıdığı göz önüne alınarak, bu alanlarda ek taramalar gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, ölçüm sırasında oluşabilecek potansiyel hataların en aza indirgenmesine olanak tanımıştır.

YLT cihazının, yakın mesafelerde 1-2 mm düzeyinde hassasiyet sunması, olay yerindeki kritik detayların belgelenmesinde büyük avantaj sağlamıştır. Tüm nesnelerin her açıdan taranması ve cihazın yüksek çözünürlük kapasitesi, suç mahallinin 3B modellemesini oluşturmak için gereken verilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde toplanmasına olanak tanımıştır. Bu kapsamlı veri toplama süreci, olay yeri analizi ve yeniden yapılandırma çalışmalarına güçlü bir temel oluşturmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma, FARO Focus S350'nin yüksek hassasiyet, çözünürlük ve esnek kullanım olanaklarından yararlanılarak, örnek suç mahallinin eksiksiz bir şekilde belgelenmesi ve analiz edilmesi sürecini başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir.



**Şekil 4.** Kuşbakışı olarak 12 oturumluk lazer tarama planı.

Lazer tarayıcıların çözünürlük ayarları, ölçülen nesnenin yüzeyindeki noktaların yoğunluğunu belirleyerek taramanın ayrıntı seviyesini ve doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Çözünürlük, nokta yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, daha gerçekçi ve yüksek kaliteli tarama sonuçları elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak çözünürlüğün artırılması hem veri miktarını hem de tarama işlemi için gereken süreyi önemli ölçüde artırmaktadır.

FARO Focus S350 YLT cihazı, farklı mesafeler için kullanıcıya çeşitli çözünürlük ve kalite ayarlarını seçme imkânı sunmaktadır. Bu cihazda bulunan 14 çözünürlük seviyesi, farklı tarama ihtiyaçlarına göre esnek bir kullanım sağlamaktadır. Örneğin, cihazın 10 metre mesafede yaklaşık 6 mm'lik bir nokta aralığı sunduğu, 1 metre mesafede ise bu yoğunluğun yaklaşık 0,6 mm'ye düştüğü bilinmektedir. Daha yüksek nokta yoğunluğu, özellikle detaylı 3B modelleme ve hassas analiz gerektiren durumlar için tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, örnek suç mahallinin gerçekçi ve ayrıntılı bir 3B modelini oluşturmak amacıyla, ½ çözünürlük ve 2x kalite ayarları seçilmiştir. Bu ayarlar, tarama süresi ve veri kalitesi arasında dengeli bir çözüm sunarak, olay yerinin tüm detaylarının doğru bir şekilde belgelenmesine olanak tanımıştır. Belirlenen ayarlarla her bir tarama, yaklaşık 12 dakika sürmüş ve cihaz, hedef nesnelere ortalama 1 metre mesafede konumlandırılmıştır. Bu mesafe, taramada 0,6 mm'lik bir nokta yoğunluğu ile sonuçlanmış, bu da nesnelerin yüzey detaylarının yüksek çözünürlükte kaydedilmesini sağlamıştır.

Çözünürlük ve kalite ayarları, tarama süresi ve elde edilen verinin boyutunu doğrudan etkilemektedir. Örneğin, kalite ayarının 2x'ten 3x'e çıkarılması, tarama süresini orantılı olarak artırırken, verinin boyutunu ve detay seviyesini de önemli ölçüde yükseltmektedir. Ancak bu çalışmada, detayların yeterince hassas bir şekilde belgelenmesi için kullanılan ½ çözünürlük ve 2x kalite ayarı, dengeli bir veri kalitesi ve işleme süresi sunmuştur. Böylece tarama süresi minimumda tutulurken, olay yerinin ayrıntılı bir 3B modeli oluşturulabilmiştir.

Tarama sırasında, YLT cihazı, olay yerinin her detayını doğru bir şekilde belgelemek için stratejik olarak konumlandırılmıştır. Özellikle detayların kritik olduğu bölgelerde (örneğin, cansız mankenin yüzey detayları veya yansıtıcı özellikler taşıyan nesnelere), yüksek nokta yoğunluğu gerektiren ayarlar seçilmiştir. Bu stratejik yaklaşım, eksiksiz ve gerçekçi bir 3B nokta bulutu elde edilmesine olanak tanımış, aynı zamanda tarama sürecinde olası veri kayıplarını önlemiştir.

Sonuç olarak, kullanılan çözünürlük ve kalite ayarları, olay yerinin tüm ayrıntılarının doğru bir şekilde belgelenmesini ve yüksek çözünürlükte bir 3B modelin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım,

hem detay seviyesinin hem de verimliliğin optimize edilmesi açısından ideal bir çözüm sunmuştur.

FaroScene yazılımının sezgisel arayüzü ve güçlü veri işleme yetenekleri, bu çalışmanın verimliliğini artırmıştır. Kullanılan bilgisayar donanımının özellikleri, veri işleme sürecini optimize etmiş ve büyük veri setlerinin hızlı bir şekilde işlenmesini sağlamıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri.

| Özellik     | Değer                                      |
|-------------|--|
| İşlemci     | Intel(R) Core(TM) i7-11800H CPU @ 2.30 GHz |
| RAM         | 16 GB                                      |
| Ekran Kartı | NVIDIA GeForce RTX 3050 TI                 |

## 2.5. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, elde edilen ölçüm verilerinin doğruluğunun test edilmesi ve referans verilerle karşılaştırılarak sonuçların güvenilirliğinin değerlendirilmesini içeren kritik bir kontrol sürecini temsil etmektedir. Bu çalışmada, doğruluk analizi için referans veri olarak manuel ölçüm yöntemleri kullanılmış ve analizler Karesel Ortalama Hata (KOH) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

KOH yöntemi, iki veri seti arasındaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemde, her bir veri noktasındaki farkların karesi alınarak, toplam farkın veri noktası sayısının bir eksiğine bölünmesi ile bir ortalama hesaplanmaktadır. Son olarak, bu ortalama değer karekökü alınmakta ve bu sonuç hata değerini temsil etmektedir. Denklem 2'de gösterilen bu hesaplama yöntemi, veri setleri arasındaki farkları bir metrik çerçevesinde değerlendirerek hatanın büyüklüğünü ortaya koymaktadır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Bu çalışmada, manuel ölçüm sonuçları ve lazer tarama cihazından elde edilen veriler arasındaki farklar incelenmiştir. KOH hesaplamaları, elde edilen verilerin ölçüm hassasiyeti ve doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır.

KOH değerleri, kabul edilebilir hata sınırları içinde kaldığında, veri setinin yüksek doğrulukta olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu analiz, lazer tarama cihazı ile toplanan verilerin referans ölçüm verileriyle tutarlılığını doğrulamış ve cihazın ölçüm hassasiyetinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, KOH yöntemi sayesinde olası sistematik hatalar ya da

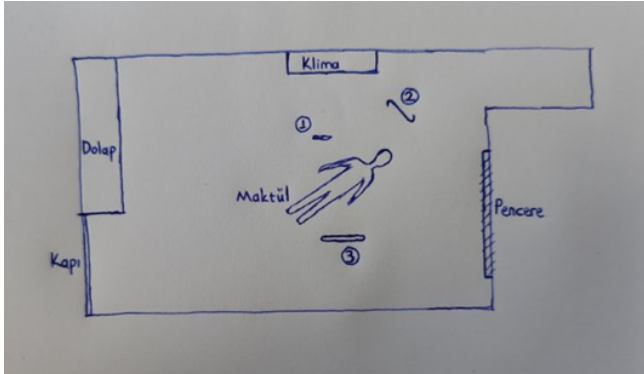
ölçüm sürecinde oluşabilecek sapmalar tespit edilmiştir.

Doğruluk analizinin bu şekilde yapılandırılması, çalışmanın genel sonuçlarının güvenilirliğini artırmış ve veri toplama sürecinin kalitesini kanıtlamıştır. Sonuç olarak, bu yöntem, hem ölçüm sürecinde kullanılan ekipmanların etkinliğini hem de elde edilen verilerin bilimsel geçerliliğini doğrulamak için etkili bir araç olarak kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Veri Toplama ve Ön Değerlendirme

Bu çalışmada, YLT cihazı kullanılarak bir iç mekân suç mahallinin 3B olarak modellenmesi için saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Suç mahalli tarama işlemleri, uygun tarayıcı konumları ve parametreleri dikkatle planlanarak yaklaşık iki saat içinde tamamlanmıştır. Fakat bu işlemde önce hem referans olması hem de geleneksel olay yeri krokisini göstermek amacıyla manuel kroki çizilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanının elle çizilen krokisi.

Tarama işlemlerinin etkinliği ve doğruluğunu sağlamak amacıyla, manuel ölçümler ile referans noktaları belirlenmiş ve tarama sonrası doğruluk analizinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir.

Tarama sürecine başlamadan önce, YLT cihazının olay yerini tüm açılardan görebileceği tarama istasyonlarının sayısı ve yerleşimi detaylı bir şekilde planlanmıştır. Bu planlama aşaması, cihazın kör nokta bırakmaması, tarama kalitesinin en üst düzeyde olması ve elde edilen verilerin işlenebilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Tarayıcı konumlarının belirlenmesinde nesnelere boyutu, detay seviyesi, çevresel koşullar ve ölçüm sürecinin potansiyel zorlukları dikkate alınmıştır.

Optimum tarayıcı konumları, hedef nesnelere tam kapsamlı taramasını garanti edecek şekilde düzenlenmiştir. Taranacak nesnelere, cihazdan 2 metre mesafede konumlandırılmış ve bu mesafe 1/2 çözünürlük ve 2x kalite parametrelerinin seçilmesinde

belirleyici olmuştur. Çözünürlük parametresi, detay seviyesi ile veri toplama süresi arasında bir denge sağlayarak her noktada yaklaşık 6,136 mm'lik bir nokta aralığı sunmuştur. Kalite parametresi ise, nokta yoğunluğunu artırarak istenmeyen ölçüm hatalarını ve gürültüyü azaltmış, daha doğru bir 3B model elde edilmesini sağlamıştır.

Suç mahallinde, toplam altı referans hedef kullanılmıştır. Bu hedefler, tarama istasyonlarından elde edilen verilerin birleştirilmesi ve hizalanması sürecinde cihazın yazılımına rehberlik etmiştir. Her tarama pozisyonunda en az üç ortak referans hedef bulunması sağlanmış, bu sayede YLT cihazı, tüm taramaları birleştirerek tutarlı bir nokta bulutu oluşturmuştur. Referans hedeflerin varlığı, ölçüm doğruluğunu artırırken tarama sürecinin verimliliğine de katkı sağlamıştır.

Tarama sürecinin sorunsuz ilerlemesi için ortam koşulları kontrol altına alınmıştır. İç mekan taraması sırasında parlak veya yansıtıcı yüzeylerden kaynaklanabilecek hataları önlemek amacıyla ortam tozdan arındırılmış ve yansıtıcı nesnelere çıkarılmıştır. Ayrıca, öğlen saatlerinde güneş ışığından kaynaklanabilecek yansıma problemleri, pencereye perde çekilerek engellenmiştir. Tarama sırasında, ölçüm alanında başka bir biyolojik varlığın bulunmamasına özen gösterilmiştir. Veri toplamaya ait görseller Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. YLT ile veri toplama (ayak tarafı).



Şekil 7. YLT ile veri toplama (yan tarafı).

Çalışma boyunca, YLT cihazının tarama parametreleri, istenen detay seviyesine ulaşmak ve zaman verimliliğini sağlamak için optimize edilmiştir. Kalite parametresi, ölçüm süresini artırmasına rağmen, gürültü oranını azaltarak elde edilen 3B modelin doğruluğunu artırmıştır. Bu sayede, taranan nesnelere yüzey detayları daha gerçekçi bir şekilde kaydedilmiştir. Tarama sırasında kullanılan entegre RGB kamera, nokta bulutu verisine renk bilgisi ekleyerek 3B modelin görsel kalitesini artırmıştır.

- Örnek olay yerinde, bir cinayet maktulünü temsil eden cansız bir manken ve cinayet silahı olarak kullanılabilir üç farklı nesne başarıyla taranmıştır.
- YLT cihazı, suç mahallini 1 mm hassasiyet ile taramış ve elde edilen verilerden detaylı bir 3B model üretilmiştir.
- Tüm tarama istasyonları, referans hedeflerle desteklenmiş ve elde edilen nokta bulutları, yazılım aracılığıyla otomatik olarak birleştirilmiştir.

### 3.2. Ofis Çalışması ve Veri İşleme Süreci

Suç mahallinin YLT cihazı kullanılarak taranmasının ardından, elde edilen veriler bir ofis çalışması kapsamında işlenmiştir. Bu süreçte, YLT cihazından alınan ölçüm verileri, FaroScene yazılımı (sürüm 2019.1) kullanılarak analiz edilmiştir. FaroScene, kapsamlı bir yazılım paketi olarak, nokta bulutu verilerinin görüntülenmesi, değerlendirilmesi, düzenlenmesi ve alternatif formatlara dönüştürülmesi gibi birçok işlevi yerine getirebilmektedir.

YLT cihazında saklanan veriler, orijinal halleriyle FaroScene yazılımına aktarılmıştır. İşleme sürecinin ilk aşamasında, ölçüm sırasında oluşan gürültü veri setinden temizlenmiştir. Bunun için kaba veri filtreleme teknikleri kullanılmış ve düşük kaliteli veya gereksiz olduğu düşünülen noktalar elenmiştir. Gürültü giderme işlemi, tarama sırasında çevresel faktörlerden kaynaklanan hataların düzeltilmesini sağlamış ve nokta bulutu verilerinin genel kalitesini artırmıştır.

Farklı tarama konumlarından elde edilen nokta bulutu verileri, yazılım tarafından otomatik birleştirme ve hizalama algoritmaları ile işlenmiştir. Bu süreçte, IterativeClosest Point (ICP) ve Cloud-to-Cloud (C2C) algoritmaları kullanılarak, nokta bulutlarının kaydı gerçekleştirilmiştir. Ardından, total station ile ölçülen referans hedefler kullanılarak nokta bulutları yeniden kayıt altına alınmıştır. Bu adım, verilerin birleşik bir referans sistemine entegre edilmesini ve ölçümlerin doğruluğunun artırılmasını sağlamıştır.

Tarama işlemi sırasında oluşabilecek kör noktalar, lazer ışınının hedef nesnelere tam olarak kapsayamaması durumunda ortaya çıkmaktadır. Kör noktalar, ölçülemeyen alanları temsil eder ve genellikle tarama sırasında kullanılan aparatlardan veya ortam koşullarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, kör noktaları en aza indirmek için stratejik tarama pozisyonları belirlenmiş ve gerekli durumlarda alternatif metodolojiler kullanılmıştır. Ancak, bazı ölü noktaların giderilebilmesi için daha fazla tarama pozisyonu eklenmesi veya ek yöntemler uygulanması gerekebileceği belirtilmiştir.

Son işleme sürecinde, FaroScene yazılımında ek filtreler uygulanarak nokta bulutundaki kalan yabancı gürültü tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu işlemler

sonucunda, suç mahalli hassas ve yüksek doğruluk derecesine sahip bir 3B nokta bulutu olarak yeniden yapılandırılmıştır. YLT cihazından elde edilen veriler, E57 formatında dışa aktarılmış ve uzun vadeli analizler için kullanılabilir hale getirilmiştir.

Çalışmada Ortalama birleştirme hatası 0,6 mm olarak belirlenmiştir. YLT cihazı tarafından tarama sırasında yaklaşık 3,4 milyar nokta yakalanmıştır. Yüksek doğruluk derecesine sahip nokta bulutları, adli olay yerinin detaylı analizi ve yeniden yapılandırılması için uygun bir temel sağlamıştır.

### 3.3. Yersel Lazer Tarayıcı ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizler

Örnek suç alanı, FaroFocus S350 YLT cihazı kullanılarak detaylı bir şekilde taranmıştır. Tarama sürecinde, maktulü temsil eden cansız mankenin baş ve ayak kısımlarına odaklanılmıştır. Mankenin baş kısmından dört, ayak kısmından ise sekiz tarama olmak üzere toplamda 12 tarama seansı gerçekleştirilmiştir. Bu planlama, suç alanının eksiksiz bir şekilde belgelenmesini ve yüksek hassasiyetle 3B modelleme yapılmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur.

Her tarama istasyonu, olay yerinin en ince detayına kadar kaydedilmesini sağlamak amacıyla stratejik olarak konumlandırılmıştır. Tarama işlemleri sırasında cihazın 1/2 çözünürlük ve 2x kalite ayarları kullanılmış, bu da nokta yoğunluğu ve tarama hassasiyeti açısından dengeli bir sonuç elde edilmesine imkân tanımıştır. Tarama sürecinin her aşamasında, YLT cihazı tarafından elde edilen verilerin tutarlılığı ve doğruluğu, daha sonra doğruluk analizi için referans alınmıştır.

YLT cihazı ile elde edilen tarama görüntüleri, olay yerinin ayrıntılı bir 3B temsili oluşturmak için kullanılmıştır. Cansız mankenin konumu, yüzey detayları ve çevresindeki nesnelere, yüksek hassasiyetle kaydedilmiştir. Tarama işlemleri sonucunda elde edilen veriler, olay yerinin her açıdan eksiksiz bir nokta bulutuna dönüştürülmesini sağlamıştır.

Bu çalışmada, YLT cihazı ile elde edilen nokta bulutları, suç mahallinin hassas, doğru ve 3B bir modeli olarak başarıyla işlenmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 9 ve 10'da nokta bulutlarından elde edilen görselleri sunarken, Şekil 11-14'te daha detaylı incelemeler için referans noktalarını göstermektedir.



Şekil 9. YLT ile nokta bulutu.



Şekil 12. Alt cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.



Şekil 10. Ön taraf için nokta bulutu.



Şekil 13. Ön cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.



Şekil 11. YLT son nokta bulutları yakın gösterimi.



Şekil 14. Ön ve üst cepheden yakın gösterim ile nokta bulutu.

Bu çalışma, YLT cihazı kullanılarak iç mekân suç mahallinin etkili bir şekilde taranabileceğini göstermiştir. Referans hedeflerin doğru konumlandırılması ve tarama parametrelerinin özenle seçilmesi, ölçüm doğruluğunu artırmış ve tarama sürecinin verimliliğini sağlamıştır. Referans hedeflerin eksikliğini tarama doğruluğunu düşürebileceği göz önünde bulundurularak, bu tür durumlarda daha fazla tarama istasyonu oluşturulması ve istasyonların ölçüm yapılan nesneye daha yakın yerleştirilmesi önerilmektedir.

Bu yöntemlerin kullanımı, adli olay yerlerinin dijital belgelenmesi ve analizi için güvenilir bir temel sunmaktadır. Ayrıca, elde edilen yüksek çözünürlüklü 3B modeller, olay yerinin yeniden yapılandırılması ve incelenmesi için oldukça etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir.

### 3.4. Doğruluk Analizi

Bu çalışmada, doğruluk analizi YLT cihazından elde edilen verilerin manuel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Referans veri olarak, toplamda 16 farklı noktadan manuel yöntemle ölçülen değerler kullanılmıştır. Veriler arasındaki farklar, KOH yöntemi ile analiz edilmiştir. KOH yöntemi, iki veri seti arasındaki farkları istatistiksel olarak değerlendirmek ve YLT cihazı ile elde edilen verilerin hassasiyetini doğrulamak için etkili bir araçtır. Tablo 3'te, doğruluk analizinden elde edilen KOH sonuçları sunulmuştur.

**Tablo 3.** Referans veriler kullanılarak yapılan doğruluk analizi, 3B KOH sonuçları.

| NN | Gerçek Uzunluk (m) | Ölçülen Uzunluk (m) | Fark (cm) |
|----|--------------------|---------------------|-----------|
| 1  | 3.24               | 3.18                | 6         |
| 2  | 0.52               | 0.57                | -5        |
| 3  | 2.86               | 2.89                | -3        |
| 4  | 3.76               | 3.73                | 3         |
| 5  | 2.48               | 2.42                | 6         |
| 6  | 4.47               | 4.42                | 5         |
| 7  | 2.17               | 2.18                | -1        |
| 8  | 3.38               | 3.41                | -3        |
| 9  | 4.13               | 4.18                | -5        |
| 10 | 2.62               | 2.67                | -5        |
| 11 | 0.91               | 0.95                | -4        |
| 12 | 1.28               | 1.22                | 6         |
| 13 | 2.67               | 2.64                | 3         |
| 14 | 2.54               | 2.51                | 3         |
| 15 | 2.55               | 2.57                | -2        |
| 16 | 2.55               | 2.51                | 4         |

Tablo 3 incelendiğinde, YLT cihazından elde edilen verilerin yüksek hassasiyete sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgular, YLT yönteminin yalnızca görsel temsili değil, aynı zamanda metrik doğruluğu sağlama açısından da son derece etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. KOH değerlerinin kabul edilen hata sınırları içinde kalması, ölçüm sonuçlarının güvenilir ve doğruluk açısından yeterli olduğunu doğrulamaktadır.

Doğruluk analizi sonuçları, YLT yönteminin hem adli olay yerlerinin belgelenmesinde hem de 3B modellemede yüksek hassasiyet ve güvenilirlik sunduğunu göstermektedir. KOH sonuçları, bu çalışmanın temel hipotezini destekleyerek YLT cihazlarının adli bilimlerde etkin bir belgeleme yöntemi olarak kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.

Tablo 3 ve analiz sonuçları, YLT verilerinin ölçüm doğruluğunu vurgulamakta ve bu yöntemin hem bilimsel hem de pratik uygulamalarda kullanılabilirliğini güçlendirmektedir.

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, YLT teknolojisinin adli bilimlerde delillerin doğru, hızlı ve üç boyutlu olarak belgelenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, YLT cihazlarının olay yeri incelemelerinde yüksek hassasiyet ve doğruluk sağladığını göstermektedir.

Bu teknoloji, delil bütünlüğünün korunmasına ve olay yerinin dijital olarak yeniden yapılandırılmasına olanak tanıyarak adli süreçlerin hızlanmasına katkı sağlamıştır. Çalışma sonuçları hem metrik doğruluk hem de görsel temsiller açısından oldukça başarılı veriler elde edildiğini ortaya koymuştur. YLT'nin sağladığı detaylı veri toplama kapasitesi, karmaşık olay yerlerinin belgelenmesinde ve yeniden canlandırılmasında etkili bir araç olduğunu kanıtlamış; ayrıca mahkemelerde delillerin görselleştirilmesi ve analizlerin desteklenmesi gibi alanlarda da değerli bir teknoloji olduğunu göstermiştir.

Ancak, çalışma sırasında bazı sınırlamalar da tespit edilmiştir. Özellikle yansıtıcı ve parlak yüzeylerin lazer tarama doğruluğunu olumsuz etkilediği ve bu yüzeylerde ölçüm hatalarına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, YLT cihazlarının yüksek maliyetleri, özellikle küçük ve orta ölçekli kuruluşlar için erişim zorlukları yaratmaktadır. Tarama sırasında cihaz pozisyonunun yeterince planlanmaması durumunda kör noktalar oluşabilmekte ve bazı detayların kaçırılmasına neden olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için cihaz yerleşiminin dikkatle planlanması gerekmektedir. Ek olarak, veri işleme sürecinin uzun zaman alması ve yüksek işlem kapasitesine sahip bilgisayarlara ihtiyaç duyulması



hem zaman hem de kaynak açısından ek bir yük oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle yeterli eğitim ve deneyime sahip olmayan kullanıcılar için sınırlayıcı bir faktör olmuştur.

Bu sınırlamaların giderilmesi ve teknolojinin geliştirilmesine yönelik öneriler arasında, Mobil LiDAR sistemlerinin kullanımı dikkat çekmektedir. Mobil LiDAR, taşınabilirliği, hızlı veri toplama kapasitesi ve karmaşık alanlarda erişilebilir bir çözüm sunmasıyla YLT teknolojisine güçlü bir alternatif veya tamamlayıcı bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bu sistem, daha az sabit tarama noktası gerektirerek zaman verimliliğini artırabilir ve kör noktaların azaltılmasında etkili olabilir.

Ayrıca, yansıtıcı yüzeylerde daha hassas sonuçlar elde edebilmek için yeni algoritmalar ve yazılım geliştirmeleri yapılması önerilmektedir. Bu tür yazılımlar, çevresel etkilerden kaynaklanan gürültüyü azaltarak daha doğru veri elde edilmesine olanak tanıyabilir.

Bunun yanı sıra, daha hafif, taşınabilir ve uygun maliyetli YLT cihazlarının geliştirilmesi, teknolojinin daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlayarak kullanım alanlarını yaygınlaştırabilir. Teknik eğitim ve destek programlarının artırılması, kullanıcıların cihazları daha etkili bir şekilde kullanmasına katkı sağlayarak veri kalitesini artırabilir ve süreçleri daha verimli hale getirebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, YLT teknolojisinin adli olay yerlerinin dijital belgelenmesinde güçlü ve güvenilir bir araç olduğunu göstermiştir. Ancak, mevcut sınırlamaların giderilmesi ve teknolojinin geliştirilmesine yönelik yenilikçi çözümler üretilmesi, bu teknolojinin daha geniş uygulama alanlarına ulaşmasını sağlayacaktır.

Mobil LiDAR gibi alternatif teknolojilerin YLT ile birlikte değerlendirilmesi ve entegre çözümlerin geliştirilmesi, adli olay yerlerinin belgelenmesinde önemli bir dönüm noktası olabilir. Bu doğrultuda yapılacak geliştirmeler, adli bilimlerde dijital belgelenme ve analiz olanaklarını daha üst seviyelere taşıyacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Mullins, R. A. (2016). Virtual Views: Exploring the Utility and Impact of Terrestrial Laser Scanners in Forensics and Law. *Master's Thesis, Windsor Üniversitesi, Ontario, Kanada.*
- [2] Sung, L. J., Majid, Z., Ariff, M. F. M., Razali, A. F., Keng, R. W. C., Wook, M. A., & Idris, M. I. (2022). Assessing Handheld Laser Scanner for Crime Scene Analysis. *Open International Journal of Informatics, 10(2), 133-144.*
- [3] Lee, H. C., & Pagliaro, E. M. (2013). Forensic evidence and crime scene investigation. *Journal of Forensic Investigation, 1(2), 1-5.*
- [4] Roux, C., Crispino, F., & Ribaux, O. (2012). From forensics to forensic science. *Current Issues in Criminal Justice, 24(1), 7-24.*
- [5] Wang, J., Li, Z., Hu, W., Shao, Y., Wang, L., Wu, R., Ma, K., Zou, D., & Chen, Y. (2019). Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction. *Forensic science international, 303, 109943.*
- [6] Fischer, B. (2004). *Tecniques of Crime Scene Investigation. 7th Edition, New York: CRC Press.*
- [7] İnanıcı, M. A., Çolak, B., & Özaslan, A. (2004). Olay Yeri İncelemesi ve Adli Tıp Uzmanının Yeri. *Turkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences, 1(2), 97-109.*
- [8] Revetria, R., Oliva, F., & Briano, E. (2007). Modeling and simulation for supporting investigative inquiries in the JP and PS sector. *In Proceedings of the 6th WSEAS international conference on System science and simulation in engineering (pp. 352-355).*
- [9] Barazzetti, L., Sala, R., Scaioni, M., Cattaneo, C., Gibelli, D., Giussani, A., ... & Vandone, A. (2012, June). 3D scanning and imaging for quick documentation of crime and accident scenes. *In Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland security and homeland defense XI (Vol. 8359, pp. 208-221). SPIE.*
- [10] Topol, A., Jenkin, M., Gryz, J., Wilson, S., Kwietniewski, M., Jasiobedzki, P., ... & Bondy, M. (2008, May). Generating semantic information from 3D scans of crime scenes. *In 2008 Canadian Conference on Computer and Robot Vision (pp. 333-340). IEEE.*

- [11] Durnal, E. W. (2010). Crime scene investigation (as seen on TV). *Forensic Science International*, 199(1-3), 1-5.
- [12] Kalfoğlu, E. A., & Yükseloğlu, H. (2002). İnsan genomu, suç ve suçun önlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, İnsan Genom Projesi, Özel sayı*, 71-80.
- [13] Galanakis, G., Zabulis, X., Evdaimon, T., Fikenscher, S. E., Allertseder, S., Tsirikla, T., & Vrochidis, S. (2021). A study of 3D digitisation modalities for crime scene investigation. *Forensic sciences*, 1(2), 56-85.
- [14] Topal, B. D., Kaya, İ., & Özkan, S. A. Analytical Method Validation in Forensic Assay. *Adli Bilimler ve Suç Araştırmaları*, 2(1), 9-24.
- [15] Emniyet Genel Müdürlüğü (2013). Biyolojik İncelemeler Temel Eğitim Kitabı. *Kriminal Polis Laboratuvarları*, Ankara.
- [16] Polat, O. (2009). Kriminoloji ve kriminalistik üzerine notlar: suç-suçlu-suç yeri. Seçkin Yayıncılık.
- [17] Akyel, M., & Çetli, E., Özkoçak, V. (2019). New Methods and Techniques in Forensic Science and Forensic Anthropology/Adli Bilimler ve Adli Antropolojide Yeni Yöntem ve Teknikler. *Recent Evaluations on Humanities and Social Sciences*, 117.
- [18] Kabadayı, A., Kaya, Y., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- [19] Nazari, S. W., Akarsu, V., & Yakar, M. (2023). Analysis of 3D Laser Scanning Data of Farabi Mosque Using Various Softwares. *Advanced LiDAR*, 3(1), 22-34.
- [20] Kanun, E., Kanun, G. M., & Yakar, M. (2022). 3D modeling of car parts by photogrammetric methods: Example of brake discs. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(1), 7-13.
- [21] Unal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS* (Vol. 1103, p. 1108).
- [22] Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- [23] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röleve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- [24] Kabadayı, A. (2023). Kültürel Mirasın Dijital Arşivlenmesi: Emirci Sultan Türbesi ve Camii Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 82-88.
- [25] Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2016). Adli bilimler temeli. *Nobel Akademik Yayıncılık*.
- [26] Demirbaş, T. (2001). Kriminoloji. *Seçkin Yayıncılık*, 7th Edition, Ankara.
- [27] Saferstein, R. (2004). Criminalistics: An Introduction to Forensic Science. 8th Edition, *Pearson Prentice Hall*, New Jersey.
- [28] Çetli, E. (2020). Adli bilimlerde parmak izi görselleştirme çalışmalarında silika nanopartiküllerin kullanımı: Sistematik bir inceleme, *Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye*.
- [29] Aşıcioğlu, F., & Arslan, M. N. (2009). Kan lekesi model analizi: olay yerinin yeniden yapılandırılmasında kan lekesi delili. *Beta Basım Yayım Dağıtım*.
- [30] Sieberth, T., Dobay, A., Affolter, R., & Ebert, L. C. (2019). Applying virtual reality in forensics—a virtual scene walkthrough. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15, 41-47.
- [31] Agosto, E., Ajmar, A., Boccardo, P., Tonolo, F. G., & Lingua, A. (2008). Crime scene reconstruction using a fully geomatic approach. *Sensors*, 8(10), 6280-6302.
- [32] Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 68-75.
- [33] Bucheli, S. R., Pan, Z., Glennie, C. L., Lynne, A. M., Haarman, D. P., & Hill, J. M. (2014). Terrestrial laser scanning to model sunlight irradiance on cadavers under conditions of natural decomposition. *International journal of legal medicine*, 128, 725-732.
- [34] Kabadayı, A. (2023). Yersel lazer tarama yöntemi ile röleve ve restütasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- [35] Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 68-75.

- [36] Wieczorek, T., Przyłucki, R., Lisok, J., & Smagór, A. (2019). Analysis of the accuracy of crime scene mapping using 3D laser scanners. In *Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements* (pp. 406-415). Springer International Publishing.
- [37] Tredinnick, R., Smith, S., & Ponto, K. (2019). A cost-benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. *Forensic Science International: Reports*, 1, 100025.
- [38] Ruotsala, A. H. (2016). Digital Close-Range Photogrammetry – A Modern Method to Document Forensic Mass Graves. *Yüksek Lisans Tezi, Helsinki Üniversitesi, Helsinki, Finlandiya*.
- [39] Marcin, A., Maciej, S., Robert, S., & Adam, W. (2017). Hierarchical, three-dimensional measurement system for crime scene scanning. *Journal of forensic sciences*, 62(4), 889-899.
- [40] Cavagnini, G., Sansoni, G., & Trebeschi, M. (2009, January). Using 3D range cameras for crime scene documentation and legal medicine. In *Three-Dimensional Imaging Metrology* (Vol. 7239, pp. 187-196). SPIE.
- [41] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 1-4.
- [42] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 5-9.
- [43] Karabacak, A. & Yakar, M. (2023). Giyilebilir Mobil Lidar ve Uygulamaları. *Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Kitapları*, Mersin, Türkiye.
- [44] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Akyar Cliffs with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 86-89.
- [45] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Sarisih Caravanserai with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 90-93.
- [46] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D Modeling of Mufti Abdullah Siddik Mosque using Wearable Mobile LiDAR. *Advanced LiDAR*, 3(1), 01-09.
- [47] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 52-60.
- [48] Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). Incorrect use of wearable mobile LiDAR: Example of Mersin Soli Beach and Ankara National Library Underpass. *Intercontinental Geoinformation Days*, 7, 234-237.
- [49] Yakar, M., Alyılmaz, C., Telci, A., Baygul, E., Çolak, S., Aydın, M., ... & Yılmaz, H. M. (2009). 3D laser scanning and photogrammetric measurement of Akhan caravansaray.
- [50] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, O. (2009). Comparative Evaluation of Excavation Volume by Terrestrial Laser Scanner and Total Topographic Station Based Methods. *Lasers in Engineering*, 19(5), 331.
- [51] Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 37-52.
- [52] Yılmaz, H. M., Yakar, M., Yıldız, F., Karabörk, H., Kavurmacı, M. M., Mutluoğlu, O., & Göktepe, A. (2010). Determining rates of erosion of an earth pillar by terrestrial laser scanning.
- [53] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, O. (2014). Performance of photogrammetric and terrestrial laser scanning methods in volume computing of excavation and filling areas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 387-394.
- [54] Fleming, S., Woodhouse, I. H., & Cottin, A. (2015). Bringing colour to point clouds. *Hip International*, 29(2), 22-25.
- [55] San José Alonso, J. I., Martínez Rubio, J., Fernández Martín, J. J., & García Fernández, J. (2012). Comparing time-of-flight and phase-shift. The survey of the Royal Pantheon in the Basilica of San Isidoro (León). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 377-385.
- [56] Jaafar, H. A. (2017). Detection and localisation of structural deformations using terrestrial laser scanning and generalised procrustes analysis (*Doctoral dissertation*, University of Nottingham).
- [57] Mihandoost, R. K. (2015). A validation study of the measurement accuracy of SCENE and SceneVision 3D software programs. University of Central Oklahoma.

- [58] Baber, C., & Butler, M. (2012). Expertise in crime scene examination: comparing search strategies of expert and novice crime scene examiners in simulated crime scenes. *Human factors*, 54(3), 413-424.
- [59] Mullins, R. A. (2016). Virtual views: exploring the utility and impact of terrestrial laser scanners in forensics and law. *Master's thesis, University of Windsor, Canada*.
- [60] Siuru, B. (2004). Laser Technology Helps Preserve Crime Scenes. *Law and Order-Wilmette Then Deerfield*, 52(5), 52-57.
- [61] Dustin, D., Liscio, E., & Eng, P. (2016). Accuracy and repeatability of the laser scanner and total station for crime and accident scene documentation. *J Assoc Crime Scene Reconstr*, 20(1), 57-67.
- [62] Buck, U., Kneubuehl, B., Näther, S., Albertini, N., Schmidt, L., & Thali, M. (2011). 3D bloodstain pattern analysis: ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains. *Forensic science international*, 206(1-3), 22-28.
- [63] Luchowski, L., Pojda, D., Tomaka, A. A., Skabek, K., & Kowalski, P. (2021). Multimodal imagery in forensic incident scene documentation. *Sensors*, 21(4), 1407.
- [64] Raneri, D. (2018). Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Australian journal of forensic sciences*, 50(6), 697-707.
- [65] Forensic Technology Center of Excellence. (2016). "Landscape Study on 3D Crime Scene Scanning Devices. <https://forensiccoe.org/private/5dd6ad2d0ffeb> (Erişim Tarihi: 22.11.2024).
- [66] Jaafar, H. A. (2017). Detection and localisation of structural deformations using terrestrial laser scanning and generalised procrustes analysis (*Doctoral dissertation, University of Nottingham*).
- [67] Feng, X. (2012). "Crime Scene Reconstruction Based on Virtual Reality." *Nauka, Bezbednost, Policija*, 17(3), 149-160.
- [68] Kottner, S., Thali, M. J., & Gascho, D. (2023). Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. *Forensic Imaging*, 32, 200535.
- [69] Lenda, G., & Marmol, U. (2023). Integration of high-precision UAV laser scanning and terrestrial scanning measurements for determining the shape of a water tower. *Measurement*, 218, 113178.
- [70] Karasaka, L., & Beg, A. A. R. (2021). Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi. *Geomatik*, 6(1), 54-60.
- [71] Reshetyuk, R. (2006). "Investigation and Calibration of Pulsed Time-of-Flight Terrestrial Laser Scanners." *Master's Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, İsveç*.
- [72] Özdoğan, M. V., & Deliormanlı, A. H. (2018). Yersel lazer tarayıcı ile yeralti galerisinde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59), 663-675.
- [73] Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., & Kraus, K. (2004). Laser scanning: A new method for recording and documentation in archaeology. *In Proceedings of FIG Working Week*.
- [74] Özdoğan, M. V. (2015). Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler ile Belirlenmesi. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye*.
- [75] Petrie, G., & Toth, C. K. (2018). Introduction to laser ranging, profiling, and scanning. *In Topographic laser ranging and scanning*, (pp 1-28). CRC Press.
- [76] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Engineering*, 19(5-6), 331-345.
- [77] Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 33(1), 63-79.
- [78] Boehler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 6(9), 1-4.



© Author(s) 2024.

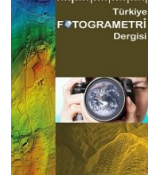
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



# Mobil Cihazların Fotogrametri Tabanlı 3B Modellemedeki Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma

Adem Kabadayı <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Şehaatli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Yozgat, Türkiye;  
(adem.kabadayi@bozok.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:

adem.kabadayi@bozok.edu.tr

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Kabadayı, A. (2024). Mobil Cihazların Fotogrametri Tabanlı 3B Modellemedeki Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 71-77.

Geliş : 29.11.2024  
Revize : 15.12.2024  
Kabul : 19.12.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

### Özet

Son yıllarda üç boyutlu modelleme teknolojileri, kültürel mirasın belgelenmesi ve dijital ortamda korunması için önemli bir araç haline gelmiştir. Özellikle mobil cihazların kullanım kolaylığı ve erişilebilirliği, bu alandaki çalışmalara yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu doğrultuda, fotogrametri tabanlı 3B modelleme, düşük maliyetli ve etkili çözümler sunarak bilimsel yöntemlerin demokratikleşmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, mobil cihazların fotogrametri tabanlı üç boyutlu modelleme süreçlerinde düşük maliyetli, erişilebilir ve etkili bir yöntem olarak kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Mobil cihazların taşınabilirlik, kullanım kolaylığı ve yüksek çözünürlüklü kameraları sayesinde, fotogrametri yönteminin hem amatör kullanıcılar hem de profesyoneller tarafından uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında, mobil cihazlarla ve DSLR kameralarla çekilen fotoğraflar kullanılarak bir heykelin 3B modeli oluşturulmuş, elde edilen sonuçlar doğruluk, hız ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Bulgular, mobil fotogrametrinin, kültürel mirasın belgelenmesi, turizm ve eğitim gibi alanlarda pratik bir çözüm sunduğunu göstermiştir. Özellikle turistik alanlarda çekilen fotoğraflardan üretilen 3B modellerin, dijital platformlarda kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Çalışma, mobil cihaz tabanlı fotogrametrik modellemenin, dijital dönüşüm çağında bilimsel yöntemlerin demokratikleşmesine ve daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasına katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil fotogrametri, 3B modelleme, Kültürel miras, Dijitalleşme.

## A Study on the Potential of Mobile Devices in Photogrammetry-Based 3D Modeling

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

### Research Article

**Citation:** Gür, D.Ö., & Yakar, M. (2024). A Study on the Potential of Mobile Devices in Photogrammetry-Based 3D Modeling. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(2), 71-77 (in Turkish).

Received : 29.11.2024  
Revised : 15.12.2024  
Accepted : 19.12.2024  
Published : 31.12.2024

### Abstract

In recent years, three-dimensional modeling technologies have become an important tool for the documentation and digital preservation of cultural heritage. Especially the ease of use and accessibility of mobile devices have brought a new dimension to the studies in this field. In this direction, photogrammetry-based 3D modeling contributes to the democratization of scientific methods by providing low-cost and effective solutions. Translated with DeepL.com (free version) This study investigates the applicability of mobile devices as a low-cost, accessible, and effective solution for photogrammetry-based three-dimensional modeling processes. The portability, ease of use, and high-resolution cameras of mobile devices make photogrammetry methods viable for both amateur users and professionals. In the study, photos taken with mobile devices and DSLR cameras were used to create a 3D model of a sculpture, and the results were compared in terms of accuracy, speed, and cost. The findings demonstrate that mobile photogrammetry offers a practical solution for cultural heritage documentation, tourism, and education. Specifically, the use of 3D models generated from photographs taken in touristic sites highlights their utility on digital platforms. The study concludes that mobile device-based photogrammetry contributes to the democratization of scientific methods in the digital transformation era, enabling wider accessibility and application across various fields.

**Keywords:** Mobile photogrammetry, 3D modeling, Cultural heritage, Digital transformation.

## 1. Giriş

Son yıllarda dijital teknolojilerin gelişimi, üç boyutlu (3B) modelleme ve dijitalleştirme yöntemlerinin farklı disiplinlerde kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu yöntemler, özellikle mimarlık, arkeoloji, kültürel mirasın belgelenmesi ve korunması gibi alanlarda önemli bir araç olarak öne çıkmıştır [1]. Geleneksel ölçüm ve modelleme yöntemlerine kıyasla, fotogrametri tabanlı yaklaşımlar, daha düşük maliyetle yüksek doğruluk sağlayabilmesi ve kolay uygulanabilirliği sayesinde geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmaktadır. Bu bağlamda, mobil cihazların kameralarının fotogrametrik modelleme süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılması, bu teknolojiyi hem daha erişilebilir hale getirmekte hem de hızlı ve etkili sonuçlar alınmasını mümkün kılmaktadır [2,3].

Fotogrametri, nesnelere fotoğraflardan 3B modeller oluşturulmasını sağlayan bir yöntemdir ve genellikle hassas ölçüm cihazları veya profesyonel kameralarla uygulanır. Ancak mobil cihaz teknolojisindeki gelişmeler, akıllı telefonların yüksek çözünürlüklü kameralarla donatılması ve güçlü yazılımlarla desteklenmesiyle, bu yöntemin mobil cihazlarla uygulanabilir hale gelmesini sağlamıştır. Özellikle turistik ve günlük amaçlarla çekilen fotoğrafların fotogrametrik analizlerde kullanılabilir olması, 3B modelleme süreçlerini hızlandırmakta ve daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından uygulanabilir kılmaktadır. Bu durum, mobil cihaz tabanlı fotogrametriyi sadece profesyoneller için değil, aynı zamanda amatör kullanıcılar ve araştırmacılar için de etkili bir araç haline getirmiştir [5].

Fotogrametrik modelleme, iki ana bileşenden oluşur: görsel verilerin toplanması ve bu verilerin dijital modele dönüştürülmesi. Geleneksel fotogrametrik ölçüm cihazlarıyla elde edilen veriler, genellikle pahalı ekipman ve özel yazılımlar gerektirebilecekken, mobil cihazların kameralarının bu süreçte etkin bir şekilde kullanılması, teknolojiyi daha erişilebilir hale getirmektedir. Mobil cihazlar, düşük maliyetleri ve taşıma kolaylıklarıyla fotogrametri tabanlı modelleme uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlamaktadır [4]. Ayrıca, mobil cihazların GPS ve ivmeölçer gibi entegre sensörleri, verilerin doğruluğunu artırmak için ek avantajlar sunmaktadır [6-7].

Mobil cihazların fotogrametrik modelleme sürecinde kullanılmasının bir diğer avantajı, kullanıcı dostu yazılımların ve uygulamaların geliştirilmesidir. Bu yazılımlar, kullanıcıların yüksek teknik bilgi gerektirmeden 3B modelleme yapmalarına imkân tanımaktadır [10]. Özellikle kültürel mirasın belgelenmesi ve korunmasında, bu tür mobil uygulamalar, arkeologların ve konservatörlerin saha çalışmaları sırasında hızlı ve pratik çözümler

sunmaktadır [8]. Mobil fotogrametrinin, kültürel mirasın korunması ve restorasyon süreçlerinde etkili bir araç haline gelmesi, zamanla daha fazla uzman tarafından benimsenmesine neden olmuştur [11].

Ayrıca tarih boyunca birçok farklı kültür ve toplumun bir arada bulunması, insanlığın kültürel zenginliği açısından önemli bir birikim sağladığı tespit edilmiştir. Kültürler arası etkileşimlerin, farklı coğrafyalarda çeşitli kültürel miras eserlerinin ortaya çıkmasına katkı sunduğu belirlenmiştir. Ancak bu eserlerin, doğal ya da yapay pek çok nedenle yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu ifade edilmiştir. Bu bağlamda, gelişen teknolojilerle kültürel mirasların korunması ve gelecek nesillere aktarılması için belgelenmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Belgelemede dijital teknolojilerin enimi büyüktür [9].

Dijital teknolojilerin, özellikle fotogrametri tabanlı modelleme ve mobil cihazlar aracılığıyla sağlanan olanakların, diğer alanlardaki uygulamaları da giderek artmaktadır. Örneğin, inşaat sektörü ve şehir planlamasında, 3B modelleme ile mekânsal analizler ve simülasyonlar yapılabilmekte, bu da projelerin daha doğru ve verimli bir şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktadır [12]. Mobil fotogrametri tabanlı modelleme, sadece kültürel miras ve arkeoloji gibi alanlarda değil, geniş bir yelpazede dijitalleştirme süreçlerini dönüştürmeye devam etmektedir.

Mobil cihazlarla fotogrametrik modelleme, hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlarken, veri toplama süreçlerini demokratikleştiren bir teknoloji olarak da öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, amatör kullanıcıların bilimsel araştırmalara katkı sağlamasını ve geniş ölçekte veri toplanmasını mümkün kılmakla, aynı zamanda akademik ve profesyonel çalışmalarda da yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Mobil cihazlarla gerçekleştirilen fotogrametrik modelleme süreci, saha koşullarında hızla uygulanabilirliği ve esnekliği ile özellikle sınırlı kaynaklara sahip projeler için büyük bir avantaj sunmaktadır [14].

Bu çalışmanın temel amacı, turistik ziyaretler sırasında mobil cihazlarla çekilen fotoğrafların fotogrametri yöntemiyle işlenerek hızlı ve hassas bir 3B model oluşturulabileceğini göstermektir. Bu nedenle, bir heykel örneği üzerinde gerçekleştirilen modelleme süreci, yöntemin hem pratik hem de bilimsel olarak uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Araştırma, mobil cihazların düşük maliyetli ve taşınabilir bir çözüm olarak fotogrametri alanındaki yerini değerlendirmekte, ayrıca turizm, eğitim ve kültürel mirasın korunması gibi alanlarda potansiyel kullanımını irdelemektedir.

Bu bağlamda, çalışmanın bulguları, fotogrametri yönteminin mobil cihazlarla ne kadar etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermekle kalmayıp, bu teknolojinin farklı alanlarda nasıl kullanılacağı üzerine de yeni perspektifler sunmaktadır. Mobil cihaz

tabanlı fotogrametrik modelleme, dijital dönüşüm çağında bilimsel yöntemlerin demokratikleşmesine ve daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasına katkıda bulunan önemli bir araçtır. Bu çalışmada, bu yöntemin turistik bir bağlamda uygulanabilirliği ve elde edilen sonuçların doğruluğu detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

## 2. Turistik Ziyaretlerde Fotogrametrik Modelleme

Turistik alanlarda fotogrametrik modelleme, özellikle kültürel mirasın dijitalleştirilmesi ve korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Turistlerin ziyaret ettiği tarihi yapılar, heykeller, anıtlar veya doğal alanlar, geleneksel yöntemlerle belgelenmesi ve korunması oldukça zor ve maliyetlidir. Bunun yerine, mobil cihazlarla yapılan fotogrametrik modelleme, bu yapıları hızlı ve doğru bir şekilde dijital ortama aktarmak için etkin bir araçtır [19]. Turistik bölgelerde, ziyaretçilerin fotoğraflarını çekmesiyle oluşturulan veriler, hem turizm endüstrisine hem de arkeologlara, konservatörlere veya kültürel miras uzmanlarına yardımcı olabilir.

Birçok turistik bölge, hem ziyaretçilere hem de araştırmacılara, gezdikleri alanları dijital ortamda daha iyi anlamalarını sağlayacak 3B modeller sunmaktadır. Bu modeller, hem tarihi yapıları hem de doğal alanları daha ayrıntılı bir şekilde incelemeye olanak tanır ve turizmin eğitimsel boyutunu da güçlendirir [20]. Örneğin, turistler, mobil cihazlarıyla çektiği fotoğraflarla, bir anıtın veya yapının 3B modelini oluşturarak, bu yapının farklı açılardan ve detaylardan incelenmesini sağlayabilirler. Bu 3B modeller, ayrıca restorasyon çalışmalarında, tarihi yapıları eski haline getirme çabalarında referans materyali olarak kullanılabilir [13].

Bir diğer önemli kullanım alanı ise, turistik ziyaretlerde fotogrametrik modelleme ile oluşturulan dijital içeriklerin, sanal turlar ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları gibi interaktif platformlarda kullanılabilmesidir. Bu uygulamalar, turistlere tarihi ve kültürel mirası dijital ortamda deneyimleme fırsatı sunar. Özellikle pandemi gibi kriz zamanlarında, sanal turlar, turizmin kesintiye uğraması durumunda kültürel mirası erişilebilir kılmak için mükemmel bir çözüm sunmaktadır [15-16].

Birçok turistik bölgede, mobil cihazlarla çekilen fotoğraflar, 3B modeller oluşturmak için kullanılmaktadır. Örneğin, İtalya'nın Roma kentinde yapılan bir araştırma, turistlerin mobil cihazlarıyla çektikleri fotoğraflar üzerinden antik Roma yapılarının 3B modellerini oluşturmak için fotogrametri yöntemini uygulamıştır. Bu modeller, hem turistik alanların korunmasına yardımcı olmuş hem de ziyaretçilere bu yapıları dijital ortamda daha yakından keşfetme fırsatı sunmuştur [17-18]. Ayrıca, böyle bir dijitalleştirme,

tarihi yapılar için restorasyon çalışmaları yapacak olan uzmanlar için de önemli bir kaynak sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra, fotogrametrik modelleme yöntemi, sadece kültürel mirasın korunması için değil, aynı zamanda eğitim amaçlı da büyük bir potansiyele sahiptir. Öğrenciler, mobil cihazlarla oluşturdukları 3B modelleri sınıf ortamında analiz edebilir ve tarihsel yapılar hakkında daha derinlemesine bilgi sahibi olabilirler. Bu durum, hem eğitim kurumları hem de turizm sektörü için yenilikçi bir yaklaşım oluşturmaktadır [21].

## 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, mobil cihaz tabanlı fotogrametri yöntemi kullanılarak, bir heykelin üç boyutlu (3B) modeli oluşturulmuş ve bu yöntemin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın materyalleri, veri toplama süreçleri ve analiz yöntemleri aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Fotogrametri, farklı açılardan çekilen fotoğraflar üzerinden, bir nesnenin ya da ortamın 3D modelini oluşturmak için kullanılan bir tekniktir. Bu çalışma, mobil cihazların fotogrametri sürecindeki potansiyelini araştırmayı hedeflemektedir. Çalışmada kullanılan ekipmanlardan biri olan Nikon fotoğraf makinesine ait görsel Şekil 1'de ve Tablo 1'de teknik özellikler, makinenin fotogrametrik veri toplama sürecindeki rolünü daha iyi anlamak için sunulmuştur. Bu bölümde, fotoğraf makinesinin model bilgileri, çözünürlük, lens özellikleri, odak uzunluğu gibi teknik detaylara yer verilecektir. Ayrıca, çalışmada kullanılan heykelin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları da detaylı bir olarak Şekil 2'de sunulmuş olup, bu fotoğraflar üzerinden elde edilen 3D modelin doğruluğu ve detay seviyeleri değerlendirilecektir.



Şekil 1. Canon D3100 fotoğraf makinesi [28].

Geleneksel fotogrametrik yöntemlerde, doğru 3D modelleme ve analiz için algılayıcı merceğin konumunun ve açılarının önceden bilinmesi zorunludur. Yani, her bir fotoğrafın çekildiği yer ve açı, modellemenin doğruluğu için kritik öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, genellikle kameranın kalibrasyonu ve fotoğrafın çekildiği çevresel koşullar da dikkate alınmalıdır.

Ancak Structure from Motion (SfM) yöntemi, bu tür fiziksel bilgilere gerek kalmadan çok daha esnek bir çözüm sunar. SfM, birden fazla örtüşen görüntüdeki eşleşen özellikleri analiz ederek, fotoğrafların koordinatlarını, kameranın konumunu ve nesnenin geometrik yapısını aynı anda çözebilmektedir. Bu işlem, yazılım tarafından tamamen otomatik olarak gerçekleştirilir, böylece kullanıcıdan teknik bilgi ya da ek donanım gereksinimi olmadan doğru bir 3D model oluşturulabilir.



Şekil 2. Kullanılan nesne.

Tablo 1. Canon D3100 fotoğraf makinası teknik özellikleri.

| Özellik            | Değer   |
|--------------------|---|
| Kamera Çözünürlüğü | Yaklaşık 14.2 milyon piksel   |
| Çekim Modu         | 1) Tek kare çekim modu, 2) Sürekli çekim modu: yaklaşık 3fps, 3) Self-timer mod, 4) Sessiz deklanşör modu |
| Görüntü Algılayıcı | Nikon DX format (23.1 x 15.4 mm) CMOS sensör  |
| Görüntü Boyutları  | 4,608 x 3,072 [L], 3,456 x 2,304 [M], 2,304 x 1,536 [S]   |
| Piksel Aralığı     | 3,00 µm   |

SfM yönteminde, 3B bilgiler, kamera konumu, kamera kalibrasyonu ya da nesnedeki belirli referans noktalarına ihtiyaç duyulmadan elde edilebilir. Bu, fotogrametrik modelleme sürecini daha hızlı, pratik ve

maliyet etkin hale getirir. Kameraların doğru bir şekilde kalibre edilmesi veya nesne üzerindeki belirli referans noktalarının belirlenmesi gibi karmaşık adımlar yerine, sadece görüntüler arasındaki örtüşme ve benzer özelliklerin analiz edilmesi yeterlidir. Bu yöntem, daha az teknik bilgi gerektiren ve daha az hata riski taşıyan bir süreç sunar [22].

SfM tekniği, özellikle havadan ve karadan yapılan fotogrametri uygulamalarında ekonomik ve pratik bir çözüm sağlar. Yüksek çözünürlüklü kameralar ve gelişmiş yazılımlar sayesinde, karmaşık arazi koşullarında dahi düşük maliyetlerle etkili 3D modelleme yapılabilir. Bu, özellikle kaynakları sınırlı olan küçük projeler veya hızlı veri toplama gereksinimi olan alanlarda büyük bir avantaj sağlar. Ayrıca, bu yöntemin sağladığı esneklik sayesinde, uzmanlık gereksinimlerini de önemli ölçüde azaltarak daha geniş bir kullanıcı kitlesinin erişimine açılmasını mümkün kılar. Böylece, fotogrametri uygulamaları, yalnızca uzmanlık gerektiren büyük projeler için değil, aynı zamanda farklı seviyelerdeki kullanıcılar ve profesyoneller için de erişilebilir hale gelir [23].

Bu çalışmada, fotoğrafların çekilmesinde Canon D3100 modelinin gelişmiş kamera özelliklerinden yararlanılmıştır. Canon D3100, yüksek çözünürlük sunan ve fotogrametrik uygulamalara uygun bir DSLR kameradır. Bu kamera, özellikle nesnelerin ayrıntılı bir şekilde yakalanmasını sağlayarak, fotogrametrik modelleme sürecinin doğruluğunu artırmaktadır. Heykelin üç boyutlu modellemesinde, doğru ve net fotoğraflar elde etmek amacıyla, bindirmeli fotoğraf tekniği kullanılarak toplamda 55 adet resim çekilmiştir. Bu fotoğraflar, farklı açılardan ve mesafelerden çekilmiş olup, her biri birbiriyle örtüşen detaylar sunarak modelin yüksek doğrulukla oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

Modelleme süreci için Agisoft Photoscan yazılımı kullanılmıştır. Agisoft Photoscan, fotogrametri alanında yaygın olarak kullanılan ve güçlü özelliklere sahip bir yazılımdır. Bu yazılım, elde edilen fotoğrafları analiz ederek, fotoğraflar arasındaki eşleşmeleri tespit eder ve bu eşleşmeler sayesinde nesnenin üç boyutlu modelini oluşturur. Yazılımın sunduğu gelişmiş algoritmalar, fotogrametrik blok dengelemesi, yoğun nokta bulutu oluşturma ve modelin detaylandırılması gibi işlemleri otomatik olarak yaparak, verimli ve doğru bir modelleme süreci sağlar. Canon D3100 ile çekilen fotoğraflar, Agisoft Photoscan yazılımında işlenerek, heykelin yüksek çözünürlükte, gerçekçi bir 3B modeli elde edilmiştir.

#### 4. Uygulama

Bu çalışmada, fotogrametri yöntemiyle bir heykelin üç boyutlu (3B) modellemesi yapılmıştır. Çalışma, özellikle mobil cihazlar ve DSLR kameralar



gibi yaygın kullanılan teknolojilerin fotogrametrik modelleme sürecindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Uygulama süreci aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir:

Fotoğraf çekimi aşamasında, heykelin 3B modelini oluşturmak amacıyla Canon D3100 fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Fotoğraf çekiminde, heykelin farklı açılarından ve çeşitli mesafelerden toplam 55 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğraflar bindirmeli çekim tekniğiyle alınarak, her fotoğrafın birbiriyle örtüşmesi sağlanmıştır. Bindirmeli çekimler, modelin doğruluğunu artırmak için önemli bir unsur olup, fotogrametrik yazılımın fotoğraflar arasındaki ortak özellikleri doğru bir şekilde eşleştirmesine yardımcı olmuştur.

Veri toplama sürecinde, fotoğraflar heykelin tüm yüzeylerinin farklı açılardan kapsanacak şekilde özenle seçilen noktalardan çekilmiştir. Çekim sırasında, fotoğraf makinelerinin odak uzunluğu, diyafram açıklığı ve enstantane hızı gibi parametreler doğru veri toplama için optimize edilmiştir. Fotoğrafların doğru şekilde çekilmesi, modelin detaylarının ve doğruluğunun artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Elde edilen fotoğraflar, Agisoft Photoscan yazılımında işlenmiştir. Yazılım, fotoğraflar arasındaki örtüşen özellikleri tespit ederek fotogrametrik blok dengelemesi yapmıştır. Bu işlem sonucunda, modelin 3B noktalarından oluşan yoğun bir nokta bulutu elde edilmiştir. Nokta bulutunun oluşturulmasının ardından, bu bulut üzerinde yüzeyler oluşturulmuş ve heykelin tam üç boyutlu modeli inşa edilmiştir.

Agisoft Photoscan yazılımı ile oluşturulan 3D model, çeşitli parametrelerle optimize edilmiştir. Modelin doğruluğu, görsel kalitesi ve detay seviyesi yazılımın sağladığı araçlar kullanılarak iyileştirilmiştir. Elde edilen 3D modelin farklı açılardan görselleştirilmesi Şekil 3'te verilmiştir. Model üzerinde yapılan incelemeler, heykelin fiziksel özelliklerinin dijital ortamda doğru bir şekilde yansıtıldığını göstermiştir.

Yapılan modelleme işlemi sonrasında, heykelin dijital 3D modeli, görsel kalite ve detaylar açısından değerlendirilmiştir. Model, orijinal heykelle karşılaştırılarak doğru bir şekilde yansımaları sağlanmış ve modellemenin etkinliği test edilmiştir. Sonuçlar, fotogrametri yönteminin, özellikle bindirmeli fotoğraf çekim teknikleriyle yüksek doğrulukla 3D modelleme yapılabileceğini ve Agisoft Photoscan yazılımının bu süreçte güçlü bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Bu uygulama, fotogrametri yöntemlerinin ve günümüz teknolojilerinin heykel ve diğer kültürel mirasların dijital korunması için nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda, fotogrametrik modelleme süreçlerinin pratikte nasıl işlediği ve bu tür projelerin doğruluk ve verimlilik

açısından nasıl optimize edilebileceği üzerine de önemli bulgular sunmaktadır



Şekil 2. Modelin farklı açılarından gösterimi.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Mobil cihazlarla gerçekleştirilen fotogrametri tabanlı üç boyutlu modelleme, kültürel mirasın belgelenmesi ve dijital korunmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen bulgular, bu yöntemin düşük maliyet, hız ve erişilebilirlik açısından sağladığı avantajlarla geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma, mobil cihazların fotogrametri tabanlı 3B modelleme süreçlerinde düşük maliyetli, hızlı ve etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Mobil teknolojilerin sağladığı erişilebilirlik, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı, bu yöntemi yalnızca profesyoneller için değil, amatör kullanıcılar ve araştırmacılar için de cazip hale getirmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulama, mobil cihazların kültürel miras unsurlarının belgelenmesi ve dijital korunmasında önemli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Özellikle düşük bütçeli projelerde, mobil cihazların sağladığı pratiklik ve verimlilik, geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır.

Mobil cihazlar ile gerçekleştirilen fotogrametrik modelleme, turizm ve eğitim alanlarında yenilikçi uygulamalara olanak tanımaktadır. Turistik alanlarda, mobil cihazlarla çekilen fotoğraflar üzerinden oluşturulan üç boyutlu modeller, sanal turlar ve artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla desteklenerek kültürel mirasın geniş kitlelere tanıtılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, bu teknoloji öğrenciler ve araştırmacılar için kapsamlı bir eğitim ve analiz kaynağı oluşturmakta, kültürel mirasın dijital ortamda detaylı bir şekilde incelenmesine imkân vermektedir. Bu yöntem, hız ve maliyet açısından sağladığı avantajlarla kısıtlı bütçeye sahip projeler ve hızlı veri toplama gereksinimi olan saha çalışmaları için de önemli bir çözüm sunmaktadır.

Mobil fotogrametrinin gelecekteki potansiyeli oldukça geniştir. Özellikle artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve dijital ikiz teknolojileri gibi yenilikçi alanlarda mobil cihazlarla toplanan fotogrametrik verilerin entegrasyonu, dijitalleşme süreçlerinde çığır açıcı bir etki yaratabilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, mobil fotogrametrinin kültürel mirasın belgelenmesi, turizm, eğitim ve araştırma gibi alanlarda çok yönlü bir araç olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Mobil fotogrametri tabanlı modelleme, dijital dönüşüm çağında bilimsel yöntemlerin demokratikleşmesine ve daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasına katkı sağlayarak, gelecekte daha yaygın bir şekilde kullanılmaya devam edecektir.

Mobil fotogrametri, kültürel mirasın korunması, dijital arşivlerin oluşturulması ve eğitim materyallerinin geliştirilmesi gibi alanlarda düşük maliyetli ve etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu teknoloji, özellikle artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamalarıyla birleştirilerek hem geniş kitlelere kültürel mirasın tanıtılmasını hem de eğitim, turizm ve restorasyon gibi alanlarda yenilikçi çözümler geliştirilmesini sağlamaktadır. Gelecekte mobil fotogrametrinin, bilimsel ve kültürel çalışmaların demokratikleşmesine ve dijitalleşme süreçlerine önemli katkılar sunması beklenmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Makale tek yazarlıdır ve tüm katkılar sorumlu yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Barbero-García, I., Lerma, J. L., & MoraNavarro, G. (2020). Smartphone-based fully automatic photogrammetric 3D modelling of infants' heads for cranial deformation analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.013>
- [2] Dellaert, F., Seitz, S. M., Thorpe, C. E., & Thrun, S. (2000). Structure from motion without correspondence. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2000)*, Hilton Head Island, SC, 557–564. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2000.854916>
- [3] Donato, E., & Giuffrida, D. (2019). Combined methodologies for the survey and documentation of historical buildings: The castle of Scalea (CS, Italy). *Heritage*, 2(3), 2384–2397. <https://doi.org/10.3390/heritage2030145>
- [4] Hamal, S. N. G., Binnaz, S., & 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.
- [5] Kaya, Y., & Yiğit, A. Y. (2020). Dijital el kameraları kullanılarak kültürel mirasın belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 33–38.
- [6] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep telefonu kameralarından elde edilen görüntüler ile kültürel miras eserlerinin modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17–22.
- [7] 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). <https://doi.org/10.3390/buildings11050224>
- [8] Polat, N., Önal, M., Ernst, F., Şenol, H., Memduhoglu, A., Mutlu, S., Mutlu, S., Budan, M., Turgut, M., & Kara, H. (2020). Harran ören yeri arkeolojik kazı alanından çıkarılan bazı küçük arkeolojik buluntuların fotogrametrik olarak 3B modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55–59. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod/issue/5854/1/835434>
- [9] Polat, N., Önal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S., & Mutlu, S. (2021). Harran ören yeri kazısında bulunan kabartma yazıların üç boyutlu olarak modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 594–601.
- [10] Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., & Eroğlu, M. M. (2022). Nokta bulutu üretiminde cep telefonu ve DSLR fotoğraf makinesi kullanımının araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 23–29.
- [11] Şenol, H. İ., & Kaya, Y. (2019). İnternet tabanlı veri kullanımıyla yerleşim alanlarının modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11–16.
- [12] Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., & Ulukavak, M. (2020). Multi-instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: A case study in Kızılkoyun Necropolis area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241–1250.

- [13] Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10–14.
- [14] Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; Sample of Kanlıdivane Church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1–7.
- [15] Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2020). 3D modelling of Kayseri Tekgöz Bridge. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 29–32.
- [16] Uslu, A., Polat, N., Toprak, A. S., & Uysal, M. (2016). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 165–176. <https://doi.org/10.15659/Hartek.16.08.302>
- [17] Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve kültürel mirasların belgelenmesinde jeodezi fotogrametri mühendislerinin rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- [18] Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 8, 423–427. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.003>
- [19] Yiğit, A., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46–54.
- [20] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1–11.
- [21] Zeybek, M., & Kaya, A. (2020). Tarihi yapılar için hasarların fotogrametrik ölçme tekniğiyle incelenmesi: Artvin Tibeti Kilisesi örneği. *Geomatik*, 5(1), 47–57. <https://doi.org/10.29128/Geomatik.568584>
- [22] 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. <https://doi.org/10.53030/tufod.1293789>
- [23] Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S., Oğuz, G. M., & Kanun, E. (2020). Sfm tekniği ile oluşturulan 3B modellerin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılması: Gözne Kalesi örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 22–27.
- [24] URL1: <https://Birkarefotograf.Com/Nikon-D3100Detayli-İnceleme/>



© Author(s) 2024.

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