

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

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

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

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



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

### Araştırma Makalesi

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

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

### Özet

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

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

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

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

### Research Article

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

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

### Abstract

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

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

## 1. Giriş

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

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

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

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

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

## 2. Materyal ve Yöntem

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

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

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

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

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

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

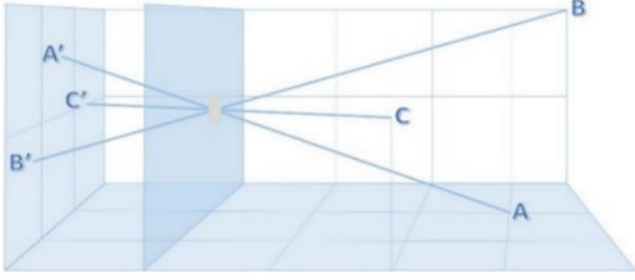
Agisoft Metashape, fotoğrafların işlenmesi, modelleme ve ölçüm süreçlerinde bir dizi özellik sunar. Bu özellikler, ölçümler için hassas nokta bulutu oluşturma, ayrıntılı modelleme yapma, coğrafi koordinat sistemlerini destekleme ve yüksek çözünürlüklü dokuların modelleme sürecine dahil edilmesi gibi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

### 2.2. Fotogrametri ve SfM Algoritma Yapısı

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

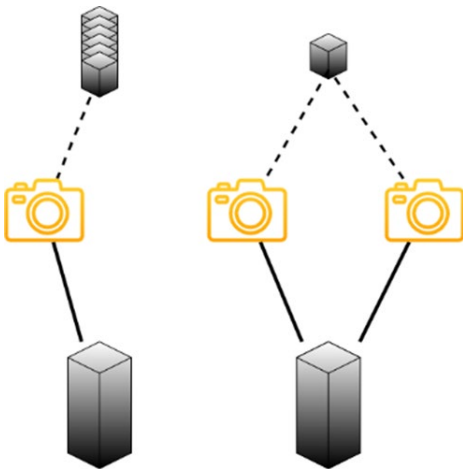
Fotogrametrinin matematiksel temellerine göre metrik bir kamerayla elde edilen görüntüdeki bir noktanın nesne uzayındaki birçok ışık ışınının yakınsamasını temsil eder.

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



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

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



Şekil 2. SfM tabanlı görüntü yakalama tekniği.

### 2.3. WEB Tabanlı Görselleştirme

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

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

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

### 3. Uygulama ve Bulgular

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

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

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

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

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

\*birimler cm'dir ve yaklaşık değerdir.

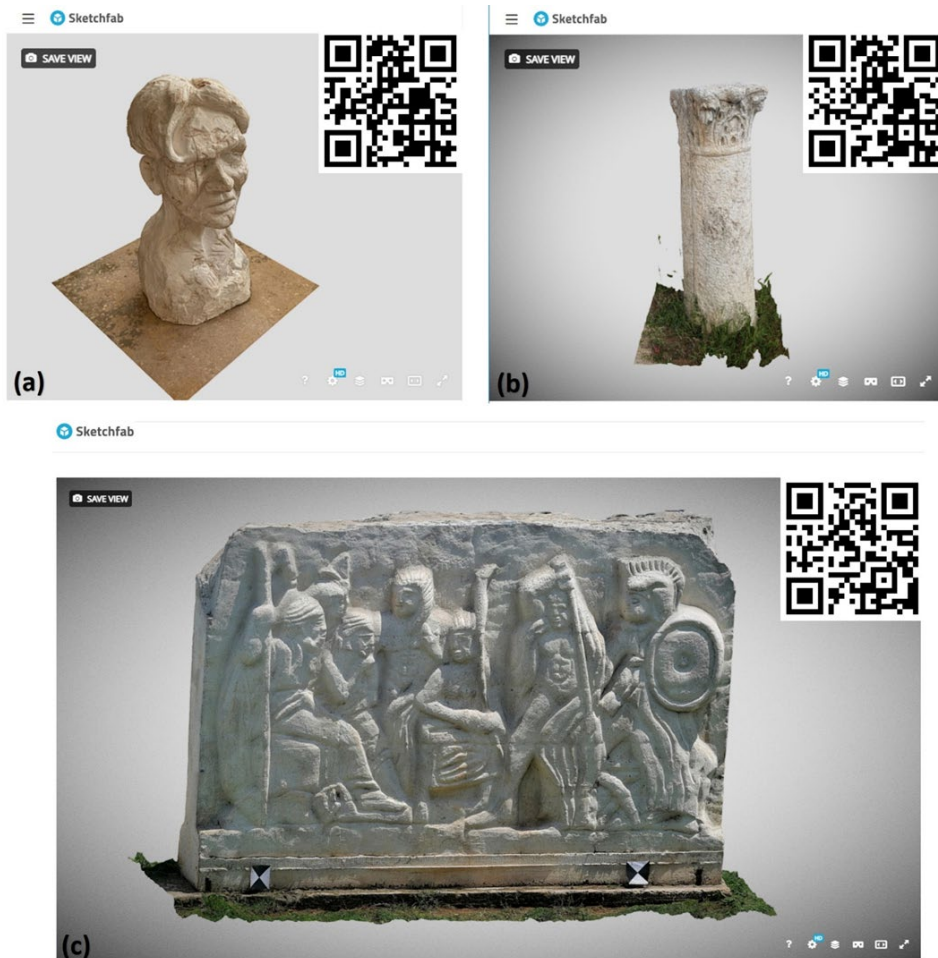
Veri işleme ve 3B yeniden oluşturma iş akışı açısından yazılım, aşağıdaki ana adımlardan oluşan iş akışı takip edilmiştir:

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

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



Şekil 3. Fotogrametri yöntemi ile üretilmiş 3B modeller.



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

#### 4. Tartışma

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

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

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

#### 5. Sonuçlar

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

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

#### Yazarların Katkısı

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

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

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Reale, D., Noviello, C., Verde, S., Cascini, L., Terracciano, G., & Arena, L. (2019). A multidisciplinary approach for the damage analysis of cultural heritage: the case study of the St. Gerlando Cathedral in Agrigento. *Remote Sensing of Environment*, 235.
- [2] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage. The Example of

- Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- [3] Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- [4] Polat, N., Onal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S., & Mutlu, S. (2021). Harran Oren Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Uç Boyutlu Olarak Modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 594-601.
- [5] Cömert, R., Avdan, U., & Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19, Zonguldak.
- [6] Tercan, E. (2017). İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 633-642. DOI: 10.21923/jesd.315232.
- [7] Kaya, Y., & Yiğit, A. Y. (2020). Dijital El Kameraları Kullanılarak Kültürel Mirasın Belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 33-38.
- [8] Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K., & Labeledz, P. (2021). Digital Modelling and Accuracy Verification of a Complex Architectural Object Based on Photogrammetric Reconstruction. *Buildings*, 11(5)
- [9] Güleç Korumaz, A., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [10] Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 9-14. DOI: 10.53030/tufod.899089.
- [11] Hamal, S. N. G., Sarı, B., & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage A Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- [12] Döş, M. E., Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Documenting historical monuments using smartphones: a case study of Fakih Dede Tomb, Konya. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 53-60.
- [13] Yakar, M., Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2013). 3D modeling of historical doger caravansaries by digital photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(2).
- [14] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22.
- [15] Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14. DOI: 10.53030/tufod.899089.
- [16] Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. *In Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, 73-75, Tunisia, Springer International Publishing.
- [17] Şenol, H. İ., & Orman, E. (2022). Diyarbakır Mardin Kapı'nın Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3B Belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1-6. DOI: 10.53030/tufod.1099940.
- [18] Oruç, M. E. (2021). Küçük objelerin modellenmesinde videogrametri ve fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 62-68. DOI: 10.53030/tufod.1019385
- [19] Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70. 10.51946/melid.982814
- [20] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- [21] Amazon, Samsung Galaxy A52 (2023). <https://www.amazon.com/dp/B09859RY5M?tag=gsmarena093-20&linkCode=osi&th=1>. (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).
- [22] Agisoft (2023). Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8; Agisoft LLC: St. Petersburg, Russia, p. 195. (Erişim Tarihi, 5 Mayıs 2023).
- [23] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22. DOI: 10.53030/tufod.1101427
- [24] Kaya, Y., Şenol, H. İ., & Polat, N. (2021). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- [25] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23. DOI: 10.51534/tiha.1130929
- [26] Polat, N., & Kaya, Y. (2021). Investigation of the Performance of Different Pixel-Based Classification Methods in Land Use/Land Cover (LULC) Determination. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [27] Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27. DOI: 10.51534/tiha.911147



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



© Author(s) 2023.

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