

**Atf İçin:** Hamal S N G, Ulvi A, Yiğit A Y, Yakar M, 2022. Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2262 - 2275.

**To Cite:** Hamal S N G, Ulvi A, Yiğit A Y, Yakar M, 2022. Comparative Analysis of Video and Photograph Methods Used in 3D Modeling and Documentation of Underwater Objects. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2262 - 2275.

### **Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi**

Seda Nur Gamze HAMAL<sup>1</sup>, Ali ULVİ<sup>1</sup>, Abdurahman Yasin YİĞİT<sup>2\*</sup>, Murat YAKAR<sup>2</sup>

**ÖZET:** Su altındaki bir cismin üç boyutlu olarak belgelenmesi ve dijital platformlara aktarılması son yıllarda önem kazanmıştır. Bu amaçla fotogrametri yöntemi su altında denenmiş ve sualtı fotogrametrisi terimi literatürde kendine yer bulmuştur. Fotogrametri yönteminin tercih edilmesinin en önemli nedeni geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede veri üretimi, zaman ve maliyet açısından olumlu katkı sağlamasıdır. Ancak su altında fotografik veri toplayan dalgıçlar su altında sınırlı bir süre kalabildikleri için fotoğraflama işlemi tekrarlanmakta ve süreç uzamaktadır. Bu olumsuzluğu en aza indirmek için video çekim yöntemiyle veri elde etme çalışmaları denenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, bir havuza test amaçlı obje yerleştirilerek hem fotoğraf çekim hem de video çekim yöntemi ile üç boyutlu model üretiminin karşılaştırılması analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda video çekim yönteminin doğruluğunu test etmek için fotoğraf çekim yöntemi referans kabul edilmiştir. Her iki veriden elde edilen üç boyutlu nokta bulutları karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmış video çekim yönteminin karesel ortalama hatası  $\pm 3.24$  cm olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma ile su altında video çekim yönteminin kullanılabilirliği araştırılmış sonuç olarak video çekim yönteminin doğruluk açısından yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiş fakat görsel açıdan yetersiz bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Su altı, videogrametri, fotogrametri, su altı fotogrametrisi, SfM

#### **Comparative Analysis of Video and Photograph Methods Used in 3D Modeling and Documentation of Underwater Objects**

**ABSTRACT:** It has been important in recent years to document an underwater object as a three-dimensional and to transfer it to digital platforms. For this purpose, the photogrammetry method has been tried underwater and the term underwater photogrammetry has made ground in the literature. The most important reason for choosing a photogrammetry method is that it can product data in less time than traditional methods, and contribute positively in terms of time and cost. However, because divers that collect photographic data underwater can stay underwater for a limited duration, the photographing process is repeated and the process is prolonged. In order to minimize this disadvantage, data acquisition studies by videogrammetry method have started to be examined. In this study, a comparative analysis of three-dimensional model creation was made by placing a test object in a pool and using both photography and videogrammetry methods. As a result of the study, the photography method was accepted as a reference to test the accuracy of the video method. The accuracy study was carried out by comparing the three-dimensional point clouds acquired from both data sets, and the mean square error was determined to be 3.24 cm. The utility of the underwater video technique was explored in this study, and it was established that the video method was adequate in terms of accuracy but unsatisfactory visually.

**Keywords:** Underwater, videogrammetry, photogrammetry, underwater photogrammetry, SfM

<sup>1</sup>Seda Nur Gamze HAMAL (Orcid ID: 0000-0002-1050-3088), Ali ULVİ (Orcid ID: 0000-0003-3005-8011), Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Abdurahman Yasin YİĞİT (Orcid ID: 0000-0002-9407-8022), Murat YAKAR (Orcid ID: 0000-0002-2664-6251), Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdurahman Yasin YİĞİT, e-mail: abdurahmanyasinyigit@gmail.com

Bu çalışma, Yükseköğretim Kurulu 10413778 numaralı Seda Nur Gamze Hamal'ın yüksek lisans tezinin bir kısmını oluşturmaktadır.

## GİRİŞ

Yeryüzü ve su altında tarihi öneme sahip yapı ve objeler doğal ya da beşeri sebeplerden dolayı yok olma tehlikesi altındadır. Gelişen teknolojiyle birlikte bu yapı ve objelere olan ilgi artmakta ve gerekli önlemlerin alınması için yapılan çalışmalar günden güne gelişme göstermektedir. Bu gelişmeler sonucunda ortaya çıkan en önemli çalışmalardan biri de bu yapı ve objelerin dijital platformlarda belgelenmesidir (Yakar ve Yılmaz, 2008; Korumaz ve ark., 2011; Fidan, 2021). Söz konusu yapı ve objelerin belgelenmesi ve dijital ortama aktarılabilmesi için uzun yıllardır farklı ve çok sayıda yöntem kullanılmıştır. Şu ana kadar ise en pratik çözüm yolu fotoğraf çekme tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden fotoğraf verilerinden üç boyutlu (3B) model üretimine imkân veren ve diğer yöntemlere göre birçok avantajı bulunan fotogrametri tekniği uzun yıllardır tercih edilmektedir ve teknolojiyle entegreli gelişme gösterdiği için güncelliğini korumaktadır (Balletti ve ark., 2015; Şenol ve ark., 2020).

Fotogrametri yönteminin en büyük avantajı zaman ve maliyet yönünden sağladığı katkıdır. Bu yöntem birçok disipline yönelik altlık veriler ve modeller üretebildiği için farklı amaç ve doğrultuda sıklıkla tercih edilmektedir (Yakar ve ark., 2009). Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber fotogrametri tekniğinin yanında Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion-SfM) algoritması da operatörlere bu yöntemin kullanımında yeni bakış açıları sunmuştur. Bu algoritma ile önceleri operatörler tarafından hesaplanan kamera kalibrasyon parametreleri yazılımlar aracılığıyla doğrudan hesaplanabilmektedir (Kaya ve ark., 2021; Polat ve ark., 2021). Bu algoritma ile oluşturulmak istenen yapının veya objenin 3B geometrisi, ölçüm sırasındaki farklı bakış açılarından yararlanarak elde edilen en az iki fotoğraftaki eşlenen detay noktalarının bulunmasıyla çözümlenmektedir (Smith ve ark., 2016; Akçay ve ark., 2017; Sanz-Ablanado ve ark., 2018).

SfM algoritmasının sağladığı avantajlar ile birlikte fotogrametri tekniği ile fotoğraf çekiminde de değişiklikler ortaya çıkmıştır. Özellikle SfM algoritmasının optimum seviyede performans sağlaması için sıralı fotoğraflar çekilmesi gerekmektedir (Casella ve ark., 2017; Morgan ve ark., 2017; Bakker ve Lane, 2017; Sefercik ve ark., 2020). Bu ve bunun gibi teknolojik gelişmelerin fotogrametriye entegre edilmesi ve fotogrametrik yöntemde kullanılan kameraların su altında da kullanılabilmesi keşfi ile literatürde su altı fotogrametrisi kendine yer bulmuştur (Şenol ve ark., 2021). Bu gelişmeler ile beraber dijital kameraların bu alanda kullanılabilmesi için su altı ortamına uygun lens bağlantı noktasına sahip özel bir su altı muhafazasının üretilmiştir (Menna ve ark., 2016; Menna ve ark., 2018; Doğan ve Yakar, 2018). Ancak dijital kameraların ve bunların muhafazalarının pahalı olmasından dolayı yüksek çözünürlüklü kameralar yerine nispeten yüksek çözünürlük sağlayan aksiyon kameraları da su altı çalışmalarında araştırmalara dâhil edilmiştir (Helmholz ve ark., 2016; Guo ve ark., 2016; Bernardina ve ark., 2017; Vogler ve ark., 2019).

Gelişen teknolojiler ve donanımlara erişim imkânlarının artması sayesinde amatör kamera kullanıcıları da fotogrametri tekniği kolay bir şekilde kullanabilmektedir. Fotogrametri tekniğinin diğer yöntemlerden ayıran bir diğer özelliği ise bu yöntem ile insan sağlığını tehlikeye atmadan veri toplanabilmesidir. Fakat su altı fotogrametri çalışmalarında bu durum tam tersidir. Özellikle su altı fotogrametri çalışmalarını gerçekleştirecek operatörlerin profesyonel eğitim alması gerekmektedir. Her ne kadar eğitim alınsa da insan fizyolojisi gereği bir dalgıcın derinliğe ve dalış süresine bağlı olarak vücuttaki azot birikmesinden dolayı günde ortalama üçten fazla dalış yapılmaması önerilmektedir (Kahraman ve ark., 2012; Güneş, 2019). Dolayısıyla dalgıçların su altında geçirdikleri süre kısıtlıdır. Bu yüzden insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek sürede ölçüm yapılması gerekmektedir. Ancak çalışma alanının büyük olduğu durumlarda fotoğraf çekimi günler hatta haftalar alabilmektedir.

Yamafune çalışmasında video kaydeden bir dalgıcın aynı sürede fotoğraf çeken diğer bir dalgıçtan dört kat daha büyük bir alanın verisini elde edebildiğini savunmuştur. Bu durumda video çekimi ile daha kısa sürede daha fazla alanın ölçümünün yapılabileceği bilimsel çalışmalar ile desteklenmiştir (Yamafune, 2016). Çalışmanın deneylerinden sonra ölçüm süresini olabildiğince azaltmak için video çekim yöntemi ile fotogrametri çalışmaları başlamıştır.

Van Damme (2015), derinliği 16 m ve 20 m arasında değişen 15x8 m'lik bir alana yayılan batık bir alanın dokümantasyon çalışmasını yapmıştır. Böyle bir alanın su altı çalışmalarında büyük olması ve değişen derinliğin fotoğraf çekimini zorlaştırması nedeniyle çalışmada video çekim yöntemi önerilmiştir. Kolay kullanımı nedeni ile de aksiyon kamerası tercih edilmiş olup düşük görüş koşullarında video çekimi gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler Agisoft Metashape yazılımında işlenmiş ve tarihi batık alanın videogrametri yöntemiyle dokümantasyon çalışmalarında kullanılabileceği çalışma sonunda aktarılmıştır (Van Damme, 2015).

Vogler (2019), mercan resiflerinin su altı fotogrametri yöntemiyle 3B modelleme çalışmasında su altında fotoğraf ve video çekiminin veri üretme ve işleme aşamasında kullanılabilirliği, uygulanabilirliği, avantaj ve dezavantajlarını irdelemiştir. Su altı fotogrametri yöntemiyle elde edilen 3B modelin su altı videogrametrisine göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğu tespit edilmiş ancak veri üretme ve işleme süreleri kıyaslandığında su altı fotogrametri yönteminin zaman alıcı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenlerle çalışmada fotogrametri tekniğinin ayrıntılı ve yüksek hassasiyetli çalışmalarda daha uygun olduğu, büyük alanların araştırılmasında daha hızlı sonuçlar elde etmek için de su altı videogrametrisi yönteminin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Vogler, 2019).

Bu makalede, 1.5 metre derinliğe sahip bir havuza obje yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılmadan önce objenin etrafına dört adet (5cm, 10cm, 12.5cm ve 15 cm uzunluğunda) çubuk yerleştirildikten sonra fotoğraf ve video çekimi yapılmıştır. Her iki veri üretme tekniği ile üretilen verilerden aynı koordinat sisteminde nokta bulutları elde edilmiş ve bu nokta bulutları arasında doğruluk ve hassasiyet araştırması yapılmıştır.

Makalenin bu bölümden sonraki genel dağılımında ilk olarak yöntem içerisinde video çekimi ile fotoğraf çekimi arasındaki farklılıklar aktararak yöntem detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Daha sonra deney yapılan alan ve obje hakkında bilgi verilmiş ve kullanılan materyaller tanıtılmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgulardan bahsedilerek video çekiminin kullanılabilirliği tartışılmış ve sonuçlar istatistikî bilgiler ile desteklenerek sunulmuştur.

### **Su Altında Video Çekim Yönteminin Avantaj ve Dezavantajlarına Genel Bakış**

Fotogrametri yöntemi, üç boyutlu verilerin elde edilmesi ve yüksek doğruluğa ulaşılması için farklı açı ve konumlardan ardışık ve bindirmeli görüntülerin çekilmesi işlemidir (Kaya ve ark., 2019).

Video çekim yöntemi ise, genel fotogrametrik yaklaşımda olduğu gibi tek çekimli görüntü serileri yerine video akışlarından çıkarılan kareler kullanılarak yapılmaktadır (Maas, 2015; Block ve ark., 2017; Piazza ve ark., 2019). Bunun yanında video çekim yönteminin avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır.

Video kaydı ile kameralar dikkatli bir şekilde konumlandırılması gerekmediğinden, fotoğraf çekimine göre çok daha geniş alanların videoları çekilebilir. Bu sayede daha geniş kapsama alanları ve daha iyi görüntü örtüşmesi sağlanır. Ayrıca bir saniyelik video görüntüsü 24 ile 30 hareketsiz görüntüden oluştuğundan ardışık görüntülerin üst üste binmesi sağlanabilir. Bu nedenle, video çekimi ile elde edilen veriler, dengeleme işleminde daha iyi sonuçlara sahip olma eğilimi göstermekte olup bu durumlar avantaj olarak değerlendirilebilir (Telem ve Filin, 2010; Raoult ve ark., 2016).

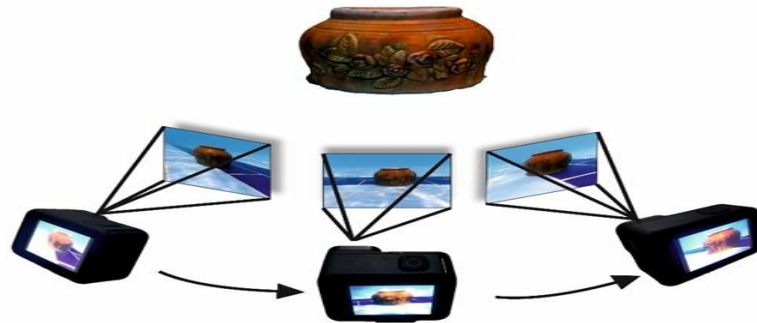
Bunların yanı sıra, görüntü çözünürlüğü daha düşüktür ve orijinal renk daha soluktur. Daha düşük görüntü çözünürlüğü, fotogerçekçi bir 3B doku işleminde genellikle düşük kaliteli dokulara neden

olmaktadır. Bunun nedeni, çoğu yüksek tanımlı (High Definition/HD) çözünürlüklü video çekiminin kare başına yalnızca 1920 x 1080 piksele sahip olması ve Sayısal Tek Mercek Yansımali (Digital single-lens reflex/DSLR) kameralı (Seyrek ve ark., 2022) bir fotoğrafın ise yaklaşık 6000 x 4000 piksel içermesidir. Başka bir deyişle, HD video kamera görüntülerinden yakalanan bir kare, DLSR kamera tarafından çekilen eşdeğer fotoğrafın piksel bilgisinin %10'undan daha azını içermektedir ve dezavantaj oluşturmaktadır. Orijinal rengin azlığı bir dezavantaj olarak görünse de yardımcı aydınlatma koşulları ile orijinal renklerini korunabilir. Fakat su altı ortamları suya nüfuz etmek için güçlü yardımcı aydınlatma kaynakları gerektirmektedir bu durum ise maliyeti arttırmaktadır. Orijinal rengi korumanın en etkili yolu olarak flaş patlamaları gösterilmektedir. Flaş etkisi fotoğraf çekiminde ortam aydınlatmasını optimum seviyede tutsa da video çekim tekniğinde bu durum kullanılamamaktadır. Bir video kamerasının yardımcı aydınlatma sağlayabilecek flaş ışıkları olsa bile sürekli spot aydınlatmadan elde edilen güç, orijinal renk alımı açısından yeterince güçlü olamamaktadır. Sonuç olarak, video çekimi yoluyla geliştirilen fotogrametrik modeller mavimsi bir tona sahip olma eğilimindedir (Drap ve ark., 2015, Yamafune, 2016).

## MATERYAL ve METOT

Su altı fotogrametrisi, ölçüm özellikleri ve sınırlı ölçüm aralığı nedeniyle yakın mesafe fotogrametrisi için uygun olan fotogrametri alanına girmektedir. Yakın mesafe fotogrametrisinde araştırmanın temel amacı, iki boyutlu görüntülerin ölçümü ve analizine dayalı olarak bir nesnenin geometrisini (şekil, boyut, konum) üç boyutlu uzayda belirlemektir (Jafari ve ark., 2017). Bu yöntemde SfM olarak bilinen ve nesnelerin hareketli kayıtlarından 3B verilerin üretilebildiği yaklaşım son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemde temel amaç, 3B modelleme çalışmalarında kullanılmaktadır (David ve ark., 2017). Ayrıca bu yöntem yüksek çözünürlüklü büyük veri setleriyle düşük maliyetli çalışma imkânı sağlamaktadır. Bu yöntem fotogrametrisinin her alanında kullanıldığı gibi su altı fotogrametrisinde ve su altı videogrametrisinde de kullanılmaktadır (Bernardina ve ark., 2016).

Fotogrametrik değerlendirmenin yapılabilmesi için öncelikle fotoğraf veya video çekiminin yapılması gerekmektedir. Fotoğraf çekme işleminde fotogrametrik değerlendirme doğruluğu açısından konvergent olarak çekilmiş bindirmeli fotoğraflar elde edilmektedir (Şekil 1). Yeryüzünde bu yöntemin kullanımı basit olsa da su altında durum çok farklıdır. Fotoğrafları çeken dalgıcın su altında kendini dengede tutması zordur. Çünkü su altı ortamı iç etkenlere (buharlaşma, yağış, donma, erime olayları vb.) ve dış etkenlere (rüzgâr, deprem, su üstü ve su altı araçları vb.) bağlı olarak dalgalı bir ortama sahiptir. Bu gibi nedenlere su altı fotoğraf çekimi profesyonellik gerektirmektedir.

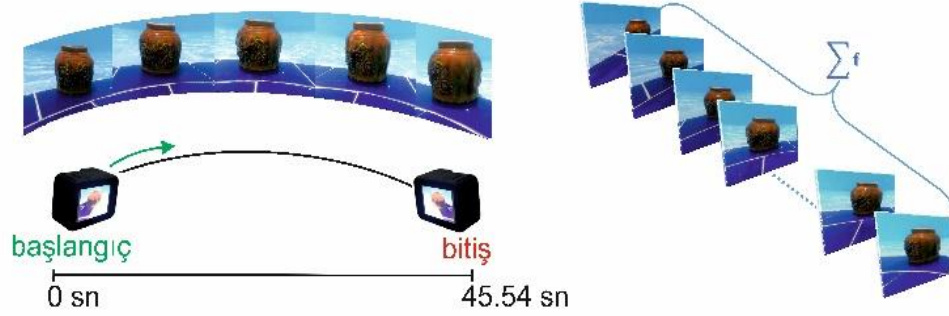


Şekil 1. Su altı fotogrametrisinde fotoğraf çekimi

Su altı video çekiminde ise hedef objenin etrafında farklı açılarda dönerek video çekim işlemi yapılmaktadır (Şekil 2). Video çekiminin fotoğraf çekimine göre avantajı su altı ortamının iç ve dış etkenlerine nispeten daha az etkilenmesidir.

Su altı video çekimden video çekim süresi (t), art arda fotoğraf karesi arasındaki süre (n) ile ifade edilmesiyle, toplam fotoğraf sayısı (Eşitlik 1) hesaplanabilmektedir. Böylelikle video çekim kare sayısı bulunarak veri işleme süresi fotoğrafla çekilen veri işleme süresine göre değerlendirmeye alınabilmektedir.

$$\sum f = \frac{t}{n} \quad (1)$$



n: art arda iki fotoğraf karesi arasındaki süre  
t: toplam video süresi

Şekil 2. Su altı fotogrametrisine video çekimi

Fotogrametride kamera yapısının özellikleri, özellikle optik ve elektriksel unsurlar, görüntülerin geometrik bozulmalarını etkiler ve bu da düşük kaliteli fotoğraflara neden olur. Görüntü bozulmalarını ortadan kaldırmak için kameranın iç yöneltme ve görüntüleme hatalarının unsurlarının belirlendiği bir kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Self-kalibrasyon olarak adlandırılan bu kriterlerin ilki, ölçüm için fotoğrafları kullanarak bir kalibrasyon gerçekleştirmeyi içerir. İkincisi ise, test alanı üzerinde ayrı bir ölçüm olarak gerçekleştirilen bağımsız bir kalibrasyondur (Brown, 1971; Fryer ve Fraser, 1986; Fryer ve Brown, 1986; Kujawa, 2021).

Kalibrasyon işleminin kendisi belirli modeller temelinde gerçekleştirilir. En popüler olanı görüntü noktalarının Eşitlik 2-3-4-5-6'daki gibi tanımlandığı matematiksel modeldir.

$$x' = x(K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + \dots) + [P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy][1 + P_3r^2 + \dots] \quad (2)$$

$$y' = y(K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + \dots) + [2P_1xy + P_2(r^2 + 2y^2)][1 + P_3r^2 + \dots] \quad (3)$$

$$x = x - x_p \quad (4)$$

$$y = y - y_p \quad (5)$$

$$r = \sqrt{|(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2|} \quad (6)$$

Burada;

x, y: fotoğraf koordinat noktaları

x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>: iç yöneltme parametreleri

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>: radyal distorsiyon

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>: teğetsel distorsiyon parametrelerini oluşturmaktadır.

## Veri üretimi

Çalışmanın ilk deneyinde, su altında fotogrametri tekniği ile 3B modelinin oluşturulabilmesi için objenin tamamını kapsayan bindirmeli 80 adet fotoğraf çekilmiştir. Çalışmanın ikinci deneyinde ise su altında video çekim yöntemiyle 45 saniyelik video ile objenin tamamının verisi toplanmıştır. Fotoğraf ve video verilerinin toplanması için Şekil 3'te gösterilen ve Çizelge 1'de temel özellikleri verilen GoPro Black Hero9 kamerası kullanılmıştır.

Aksiyon kameralar ve diğer dijital kameraların çoğu CMOS tabanlı olduğundan ve hedef çok hızlı hareket ederse görüntülerin deformasyonuna neden olabilecek bir sarmal deklanşöre sahip olduğundan, yavaş hızda yüzülmesine dikkat edilmiştir (Chun, 2008). Bu nedenle objenin kapsamlı bir şekilde video çekimini sağlamak için; bir şnorkel yardımı ile yüzücü tarafından, sürekli olarak 2 Hz'de (saniyede 0,5 görüntü ayarı) maksimum çözünürlükte görüntü yakalamak üzere ayarlanarak çekim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, veri üretme sürecinde her iki yöntem için benzer hava koşullarının sağlanmasına, gökyüzü bulutluluğuna ve sıcaklığına (23°C) dikkat edilmiştir.



Şekil 3. GoPro Hero Black 9 kamerası ve muhafazası

#### Çizelge 1. GoPro Hero Black 9 kamerasının temel özellikleri

Öznitelik	Değer
Sensör	1 Çipli CMOS
Sensör Çözünürlüğü	23,6 MP
Medya Kaydetme	1 x microSD / HC / XC (256 GB Maksimum)
Hareketsiz Görüntü Desteği	JPEG/RAW - 20 MP
Fotoğraf ISO Aralığı	100 - 6400
Video ISO Aralığı	100 - 6400
Görüntü sabitleme	Dijital
Beyaz Dengesi Modları	Oto

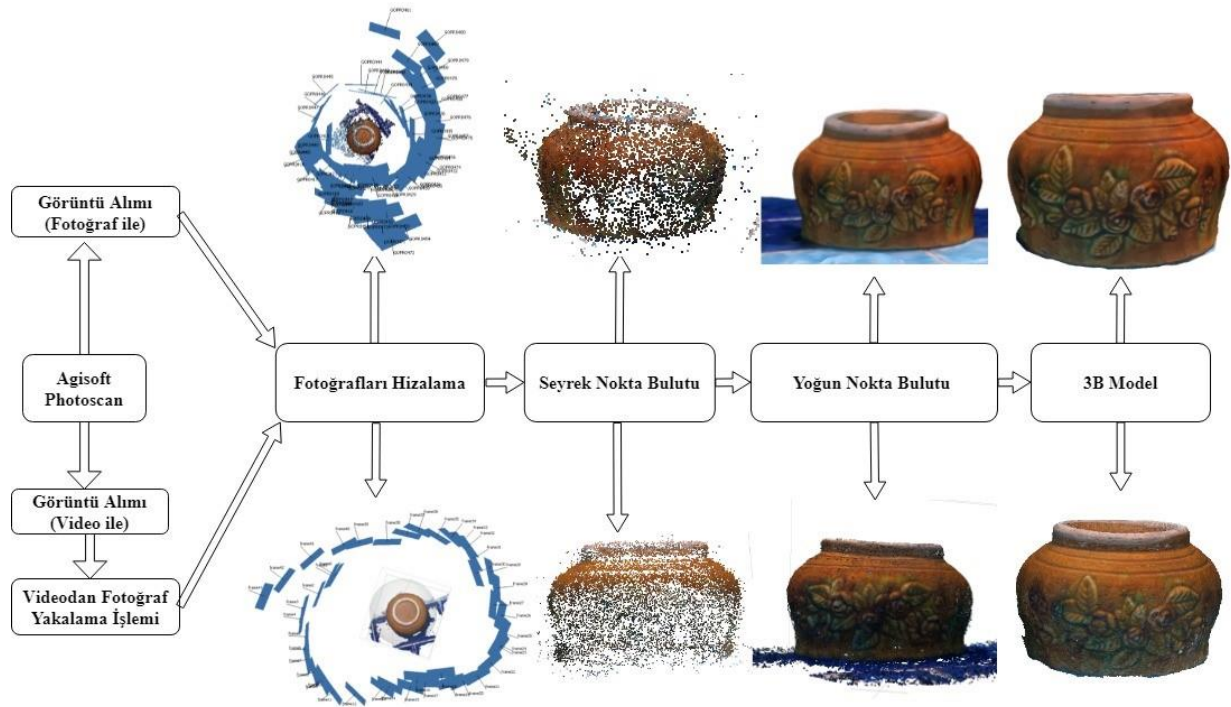
Çalışmada her iki yöntemin doğruluğunu test etmek için ölçüm yapılmadan önce objenin etrafına dört adet (5cm, 10cm, 12.5cm ve 15 cm uzunluğunda) çubuk yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi havuza su doldurulmadan önce zemine yapıştırılması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Çubuk yerleştirildikten sonra fotoğraf ve video çekimi yapılmıştır. Her iki veri üretim tekniği ile toplanan verilerden aynı koordinat sisteminde nokta bulutları elde edilmiş ve bu nokta bulutları arasında doğruluk ve hassasiyet araştırması yapılmıştır.

#### Veri işleme

Fotogrametrik değerlendirme ve objenin 3B modelini oluşturulma işlemleri için Agisoft Metashape yazılımı kullanılmıştır.

İlk olarak birinci deneyde çekilen 68 fotoğraf yazılıma aktarılıp hizalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından seramiklerin kesişim noktaları fotoğraflarda işaretlenerek tekrar hizalama işlemi yapılmıştır. Son olarak yoğun nokta bulutu ve doku üretilmiştir.

İkinci deneyde çekilen videolar yazılımda içe aktarılmıştır. Aktarılan videodan fotoğraf kareleri oluşturularak 100 fotoğraf elde edilmiştir. Ancak, daha önce belirtildiği gibi, bazı görüntüler hareket bulanıklığına maruz kalmıştır. Bu nedenle, fotogrametrik modelleme başlamadan önce düşük kaliteli fotoğraflar hariç tutularak işleme devam edilmiştir. Ardından birinci deneydeki aynı işlemler, ikinci deney için de uygulanmıştır. Yazılımda yapılan iş akışı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Agisoft Metashape yazılımında iş akışı

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Fotogrametrik Süreç

Dijital fotogrametri tekniği ile ardışık olarak çekilen fotoğraflardan SfM yöntemi kullanılarak 3 boyutlu bir model hızlı ve doğru bir şekilde oluşturulabilmektedir. Her projede olduğu gibi özellikle su altı belgeleme çalışmalarında da hızlı veri üretmek daha önemli bir hale gelmektedir. Bu çalışmada da bu amaç doğrultusunda hızlı ve hassas veri elde etmede video çekiminin etkisi araştırılmıştır. İlk olarak hedef nesnenin fotogrametrik fotoğraf çekim tekniği ile fotoğraf verileri toplanmıştır. Ardından aynı objenin video çekim tekniği ile video verileri toplanmıştır. Çalışmada 68 fotoğraf çekilmiş olup video verisi ise 54.48 saniyedir.

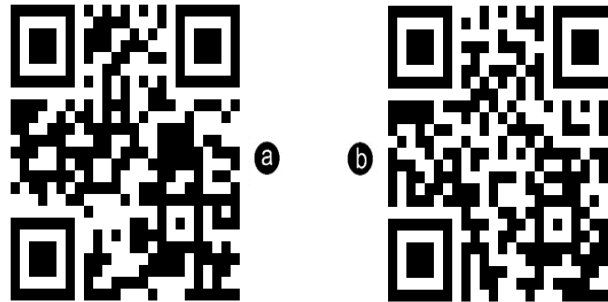
3B belgeleme çalışması için fotoğraf verileri ile video çekim verilerinin görsel ve hassasiyet karşılaştırılmasının yanı sıra zamansal olarak da karşılaştırılması açısından aynı özelliklere sahip iki bilgisayardan aynı anda süreç başlatılmıştır (Dual Intel Xeon Silver 4214 işlemci / 64gb ram / quadro p4000 ekran kartı). Süreci aynı anda başlatmak için ilk olarak video verisinden fotoğraf çerçeveleri oluşturulmuştur. Oluşturulan fotoğraf çerçevelerinin bazılarında hareketten kaynaklı bozulmalar olduğu için fotogrametrik süreçte bu fotoğraf çerçeveleri hariç tutulmuştur. Ön hazırlık işlemlerinin ardından aynı anda her iki yöntemden toplanan verilerle süreç başlatılmıştır. İlk olarak hizalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde fotoğraf verileriyle hizalama işlemi 20 dakika, video verileriyle ise 26 dakika sürmüştür. Bu sürecin ardından kamera kalibrasyonu işlemi yapılmıştır. Bu işlem her iki yöntemde de yaklaşık aynı sürede yapıldığı görülmüştür. Her iki yöntemden yerel bir koordinat sisteminde elde edilen nokta bulutlarını aynı koordinat sistemine dönüştürmek için objenin çevresine yerleştirilen kontrol noktaları ile aynı referans sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Son aşama olarak her iki yöntemden yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Nokta bulutu üretme süresi fotoğraf çekim yönteminde 42 dakika, video çekim yönteminde ise 53 dakika sürmüştür.

Fotoğraf verisi ve video çekim verisi için sırasıyla 9.098.769 ve 1.369.087 nokta bulutu üretilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Fotoğraf verisinden elde edilen nokta bulutu (a), video çekim verisinden elde edilen nokta bulutu verisi (b)

Fotoğraf verilerinin toplam süreci (operatör süreç düzenlemeleri de dâhil edilmiştir) yaklaşık 80 dakika, video verileri ise 100 dakikada tamamlanmıştır. 3B nokta bulutları fotoğraf verilerinde daha fazla üretilmesine rağmen video verilerine göre daha fazla gürültü oluşmuştur. Bunun sebebi olarak özellikle fotoğraf çekimi sırasında bindirme oranlarının manuel olarak ayarlanması, fotoğraf çekim sırasında video çekim yöntemine göre daha fazla dalgalanmanın yaşanması ve fotoğraf çekiminde daha yüksek çözünürlük elde edildiği için hedef obje dışında diğer objelerin belirginliğinin gürültüyü artırabilmesi gösterilebilir. Sonuç olarak video çekim yöntemi ile elde edilen 3B nokta bulutları hem yoğunluk hem de görsel değerlendirme açısından yeterli görülmüştür. Her iki veri seti için çalışmada üretilen 3B nokta bulutları çevrimiçi olarak görselleştirilmiş olup araştırmacılar/kullanıcıların yorumlaması için Şekil 6’da verilen karekod ile bağlantı adresi sunulmuştur (3B nokta bulutu sonuçlarını görüntülemek için ve daha iyi WebGL (3B görselleştirme) özelliği nedeniyle Chrome tarayıcısını veya mobil uygulama kullanmanızı öneririz).

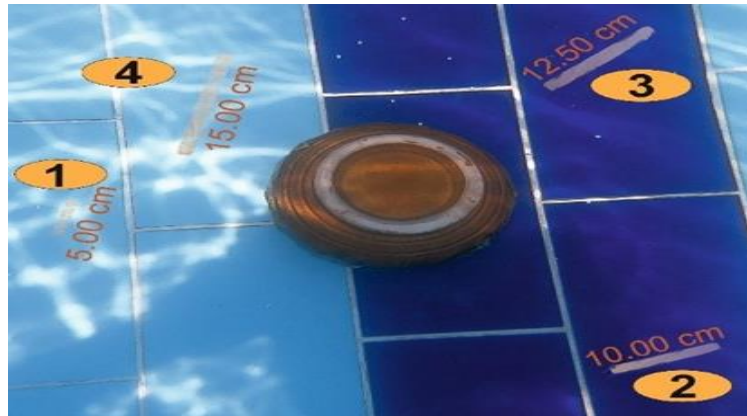


Şekil 6. Çevrimiçi 3B nokta bulutu için karekod. Fotoğraf verisi (a) (URL-1), video çekim verisi (b) (URL-2)

### Doğruluk analizi

Yeryüzünde veya sualtında görüntüleme ile dokümantasyon çalışmalarında oluşturulan 3 boyutlu modelin, gerçek boyutlarında ve eksiksiz olması aynı zamanda gelecekteki restorasyon çalışmalarında kullanılabilir olması beklenmektedir. Bu çalışma sonucunda oluşturulan 3B modelin ölçeklenebilmesi ve doğruluk analizinin yapılabilmesi için hedef obje etrafına dört adet olmak üzere farklı boyutlarda uzunluğu belli referans nesnelere yerleştirilmiştir. Bu çubuklar öncelikle oluşturulan nokta bulutunun ölçeklenmesi için kullanılmıştır (Şekil 7).



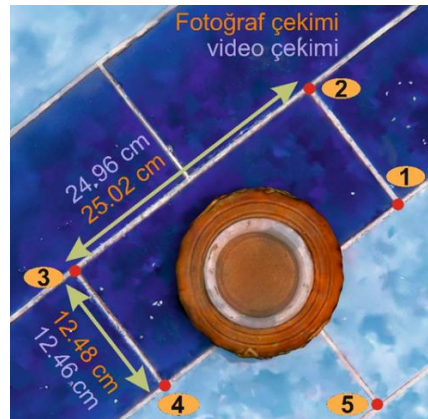


Şekil 7. Ölçeklendirme ve doğruluk analizi için kullanılan nesnelere

Ölçeklendirme işleminden sonra havuzun seramiklerinin ve yerleştirilen çubukların değerleri hem fotoğraf çekim yöntemi hem de video çekim yönteminden elde edilen veriler üzerinden ölçülmüştür. Üretilen 3B modeller üzerinden hesaplanan uzunluk değerleriyle eşitlik kullanılarak karesel ortalama hata değerleri Eşitlik 7-8 kullanılarak hesaplanmış ve değerler Şekil 8’de gösterilmiş ve Çizelge 2’de verilmiştir.

$$V = L - X \quad (7)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (8)$$



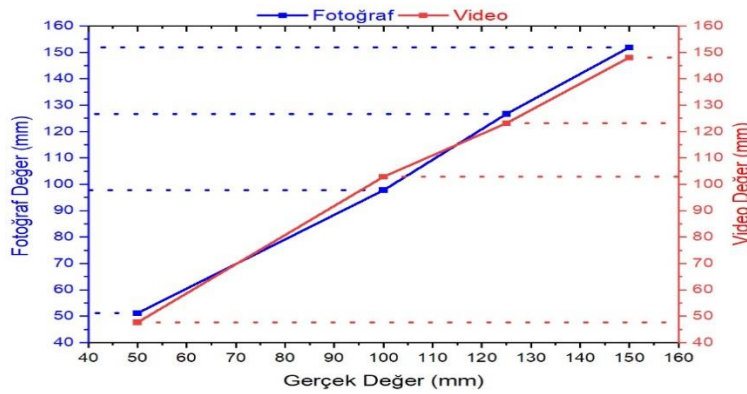
Şekil 8. Her iki veri seti için referans nesnelere ait hata değerleri

Referans veri olarak kullanılan fotoğraf çekim yöntemi ile elde edilen değerler ile video çekim yöntemi ile elde edilen uzunluk değerlerinin grafik üzerindeki incelenmesi Şekil 9’da gösterilmiştir. Çizelge 2 ve Şekil 9 incelendiğinde referans veri ile video çekim yöntemi ile elde edilen değerlerin anlamlı olduğu görülse de bir lineer dağılım göstermemektedir. Özellikle Şekil 9 incelendiğinde ikinci çubuk değeri daha düşük hassasiyette çıktığı için lineer dağılımı etkilemiştir. Diğer üç çubuk değerleri arasındaki farklar bir düzen içerisinde dağılım göstermiştir. Şekil 7’de gösterilen çubukların yeri ve Şekil 9’daki dağılım incelendiğinde oluşan grafiğin anlamlı bir yaklaşım olmadığı görülmektedir. Bir başka deyişle; birinci, üçüncü ve dördüncü çubuklara ait her iki data setindeki mesafe farkları ikinci çubuğa göre daha düşük çıkmıştır. Ayrıca ikinci çubuk değerlerinde fotoğraf yöntemi ile elde edilen değer eksi iken video yöntemi ile elde edilen değer artı çıkmıştır. Bu durum diğer tüm çubuklarda tam tersi olarak bulunmuştur. Bu durumun Şekil 7 incelendiğinde ana hedef objeden uzak olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çizelge 2 ve Şekil 9’da gösterildiği gibi su altındaki farklar birden fazla etmeden kaynaklanabilir ve bir düzen içerisinde olmayabilir. Bu yüzden örneklem sayısı artırılmalıdır.

Çizelge 2. Fotogrametri ve Video çekim yöntemleri sonucunda elde edilen ürünlerin hata değerleri

No	Ölçülen Uzunluk (m)	Hesaplanan Uzunluk (m)	V (cm)	[VV] (cm <sup>2</sup> )	m (cm)
		F/ V	F / V	F/ V	F/ V
2-3	25.00	25.02 / 24.96	-2 / 4	4 / 16	
3-4	12.50	12.48 / 12.46	2 / 4	4 / 16	
1.çubuk	5.00	5.11 / 4.77	-1.1 / 2.3	1.21 / 5.29	±2.01 /
2.çubuk	10.00	9.78/ 10.28	2.2 / -2.8	4.84 / 7.84	±3.24
3.çubuk	12.50	12.67/ 12.31	-1.7 / 1.9	2.89 / 3.61	
4.çubuk	15.00	15.18 / 14.80	-1.8 / 2.0	3.24 / 4.0	

\*F:Fotogrametri/V:Video Çekim



Şekil 9. Video çekim ve fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutları üzerinden referans çubuklarının hata değerlerinin dağılım grafiği

### Nokta bulutu – nokta bulutu (Cloud to Cloud/C2C) analizi

C2C analizi, referans nokta bulutu ile karşılaştırılan nokta bulutu arasındaki her noktanın en yakın komşu mesafesini Hausdorff mesafe yapısı kullanarak hesaplanması metodolojisi ile çalışmaktadır (Eşitlik 9). En yakın komşu mesafesi ilkesi, karşılaştırılan nokta bulutundaki her nokta için referans bulutundaki en yakın noktanın arandığı ve Öklid mesafesinin hesaplandığı iki nokta arasındaki mesafeleri hesaplamak için kullanılır (Girardeau-Montaut, 2016; Rossi, 2020; Wang, 2020).

$$h(A,B) = \max_{\alpha \in A} \min_{\beta \in B} (\min_{\beta \in B} \{d(\alpha, \beta)\}) \quad (9)$$

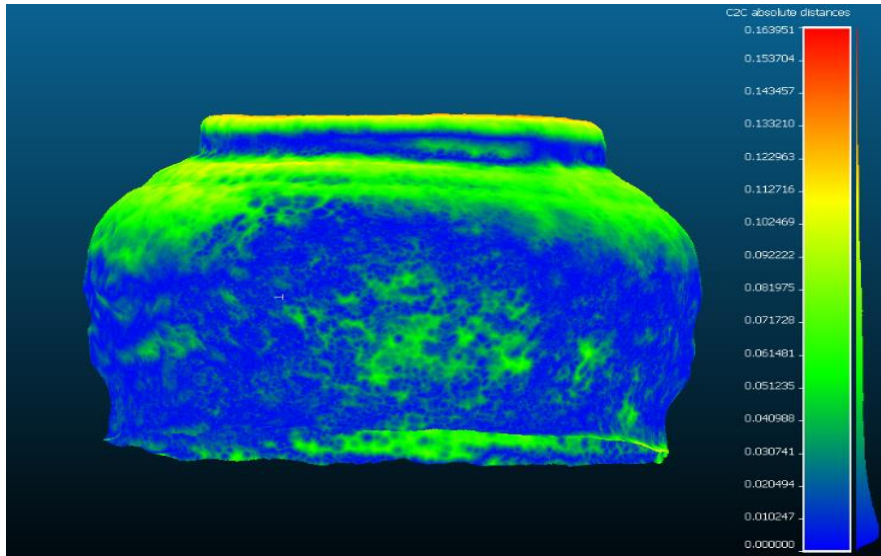
Eşitlikte;

$\alpha$  = A setinin nokta sayısı

$\beta$  = B setinin nokta sayısı

$d(\alpha, \beta)$  = Bu noktalar arasındaki herhangi metrik, anlamına gelmektedir.

Bu doğrultuda c2c analizi yapmak için CloudCompare yazılımı tercih edilmiş ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır (Şekil 11). Nokta bulutundaki noktaların uzaklıklarındaki farkın en büyük değeri ±5 cm iken iki model arasındaki ortalama mesafe ± 1 cm değerindedir.



Şekil 10. Fotoğraf çekimi (referans model) ve video çekimi ile (karşılaştırılan model) elde edilen verilerin karşılaştırılması

## SONUÇ

Bu makalede, su altı fotogrametrisi kullanımında video çekim yönteminin doğruluğu hassasiyet ev görsel açıdan irdelenmiştir. Bu doğrultuda referans olarak su altında fotoğraf çekiminden elde edilen 3B model kullanılmıştır.

Video çekim yönteminde, fotoğraf çekimine göre kıyasla daha kısa sürede ölçüm işlemi gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu nedenle dalgıçların su altında geçirdikleri süre kısıtlı olduğu için çalışma alanının büyük olduğu durumlarda video çekim yöntemi kullanılması gerektiği yazarlar tarafından savunulmaktadır. Buna ek olarak video görüntülerinden kareler oluşturma işlemi yapılırken ardışık görüntülerin üst üste binmesi daha kolay olduğundan fotoğrafların hizalanması daha kolay gerçekleşmektedir. Ancak bu karelerin hepsinin fotogrametri işlemi için uygun olmadığı görülmüştür. Bazı görüntüler bulanık çıkmıştır ve bu görüntüler fotogrametri işleminde hariç tutulmuştur. Dolayısıyla uygun fotoğrafların seçim süreci için ekstra zaman ayrılması gerekmektedir. Ayrıca çıkarılan kareler düşük görüntü çözünürlüğünün sahiptir. Bu nedenle görüntülerde renk azlığı ortaya çıkmaktadır.

Her iki yöntemden de oluşturulan 3B nokta bulutu verileri c2c analizi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen noktaların ortalama mesafesi  $\pm 2$  cm'dir. Ayrıca iki nokta bulutu verilerinde havuzun seramikleri ve referans çubukları ölçülmüş ve karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda karesel ortama hatalar fotoğraf çekim yönteminde  $\pm 2.01$  cm iken video çekim yönteminde  $\pm 3.24$  cm değerindedir. Bu durum "su altında" çekilen videodan oluşturulan modelin, fotoğraf çekiminden oluşturulan modelle neredeyse aynı olduğunu desteklemektedir.

Ek olarak bu çalışma 1.5 metre sabit derinlikte bir havuz tabanındaki obje için yapılmıştır. Ancak su altı çalışmalarında, derinlik değişimi ve bunun sonucunda ortaya çıkan suyun ışığı kırma kabiliyeti ve basınç değişim etkileri veri üretme yöntemlerin doğruluğunu etkileyip etkilemediğini belirlemek için farklı derinliklerde benzer çalışmaların yapılması gerektiği yazarlar tarafından belirtilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu makalede su altı fotoğraf ve video çekimi için donanımların teminini sağlayan Mersin Üniversitesi Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdür ve Müdür Yardımcısına yazarlar olarak teşekkür ederiz.

**Çıkar Çatışması**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Yazar Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

**KAYNAKLAR**

- Akçay Ö, Erenoğlu R C, Avşar E Ö, 2017. The Effect of Jpeg Compression In Close Range Photogrammetry. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2 (1): 35-40.
- Bakker M, Lane S N, 2017. Archival Photogrammetric Analysis of River–Floodplain Systems Using Structure from Motion (SfM) methods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42 (8): 1274-1286.
- Balletti C, Guerra F, Scocca V, Gottardi C, 2015. 3D Integrated Methodologies for The Documentation and the Virtual Reconstruction of an Archaeological Site. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. Volume XL-5/W4, 2015 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February 2015, Avila, Spain
- Bernardina G R, Cerveri P, Barros R M, Marins J C, Silvatti A P, 2017. In-air Versus Underwater Comparison of 3D Reconstruction Accuracy Using Action Sport Cameras. *Journal of biomechanics*, 51: 77-82.
- Bernardina G R, Cerveri P, Barros R M, Marins J C, Silvatti A P, 2016. Action Sport Cameras as an Instrument to Perform a 3D Underwater Motion Analysis. *PloS one*, 11 (8): e0160490.
- Block M, Dworsky C, Löw C, da Fonseca H S, Gehmlich B, Wittchen D, Ducke B, 2017. Underwater Videogrammetry with Adaptive Feature Detection at "See am Mondsee", Austria. *Studies in Digital Heritage*, 1 (2): 547-565.
- Brown D C, 1971. Lens distortion for Close-range photogrammetry. *Photometric Engineering*, 37 (8): 855-866.
- Casella E, Collin A, Harris D, Ferse S, Bejarano S, Parravicini V, Rovere A, 2017. Mapping Coral Reefs Using Consumer-Grade Drones and Structure From Motion Photogrammetry Techniques. *Coral Reefs*, 36 (1): 269-275.
- Chun J B, Jung H, Kyung C M, 2008. Suppressing Rolling-shutter Distortion of CMOS Image Sensors by motion Vector Detection. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54 (4): 1479-1487.
- David C G, Kohl N, Casella E, Rovere A, Ballesteros P, Schlurmann T, 2021. Structure-from-Motion on Shallow Reefs and Beaches: Potential and Limitations of Consumer-grade Drones to Reconstruct Topography and Bathymetry. *Coral Reefs*, 40 (3): 835-851.
- Doğan Y, Yakar M, 2018. GİS And Three-Dimensional Modeling For Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2): 50-55.
- Drap P, Merad D, Hijazi B, Gaoua L, Nawaf M M, Saccone M, Castro F, 2015. Underwater Photogrammetry and Object Modeling: a case study of Xlendi Wreck in Malta. *Sensors*, 15 (12): 30351-30384.
- Fidan D, 2021. Arkeolojik Yüzey Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3 (1): 10-23.
- Fryer J G, Brown D C, 1986. Lens Distortion for Close-range Photogrammetry. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52: 51-58.
- Fryer J G, Fraser C S, 1986. On the Calibration of Underwater Cameras. *The Photogrammetric Record*, 12 (67): 73-85.
- Girardeau-Montaut D, 2016. CloudCompare Point Cloud Processing Workshop, [http://pcp2019.ifp.uni-stuttgart.de/presentations/04-CloudCompare\\_PCP\\_2019\\_public.pdf](http://pcp2019.ifp.uni-stuttgart.de/presentations/04-CloudCompare_PCP_2019_public.pdf) (Erişim Tarihi: 10.03.2022)
- Guo T, Capra A, Troyer M, Grün A, Brooks A J, Hench J L, Dubbini M, 2016. Accuracy Assessment of Underwater Photogrammetric Three Dimensional Modelling for Coral Reefs. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41 (B5): 821-828.
- Güneş A E, 2019. Nitrojen Narkozu. ss 67-76. Aktaş, Ş. 2019. Eğitimciler için Dalış Sağlığı, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın no: 51, İstanbul, Türkiye.

- Helmholz P, Long J, Munsie T, Belton D, 2016. Accuracy Assessment of GoPro Hero 3 (Black) Camera in Underwater Environment. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
- Jafari B, Khaloo A, Lattanzi D, 2017. Deformation Tracking in 3D Point Clouds Via Statistical Sampling of Direct Cloud-To-Cloud Distances. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 36 (4): 1-10.
- Kahraman B B, Aşiret G D, Devrez N, Özdemir L, Akdemir N, 2012. Dalış Sporü ve Dalışlarda Yaşanan Sağlık Sorunlarının Önlenmesinde Hemşirenin Rolü. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 19 (1): 73-81.
- Kaya F Z, Akçay Ö, Avşar E Ö, Aydar U, 2019. Su Altı Fotogrametrik Belgelemede Güncel Uygulamalar. 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- 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.
- Korumaz A G, Dülgerler O N, Yakar M, 2011. Kültürel Mirasın Belgelemede Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26 (3): 67-83.
- Kujawa P, 2021. Comparison of 3D Models of An object Placed in Two Different Media (Air And Water) Created on The Basis of Photos Obtained with a Mobile Phone Camera. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 684 (1): 012032.
- Maas H G, 2015. On the Accuracy Potential in Underwater/Multimedia Photogrammetry. *Sensors*, 15 (8): 18140-18152.
- Menna F, Nocerino E, Fassi F, Remondino F, 2016. Geometric and Optic Characterization of a Hemispherical Dome Port for Underwater Photogrammetry. *Sensors*, 16 (1): 48.
- Menna F, Nocerino E, Remondino F, 2018. Photogrammetric Modelling of Submerged Structures: Influence of Underwater Environment and Lens Ports on Three-Dimensional (3D) Measurements. *Latest Developments in Reality-based 3D Surveying and Modelling*, MDPI, Basel, Switzerland, 279-303.
- Morgan J A, Brogan D J, Nelson P A, 2017. Application of Structure-from-Motion Photogrammetry in Laboratory Flumes. *Geomorphology*, 276: 125-143.
- Piazza P, Cummings V, Guzzi A, Hawes I, Lohrer A, Marini S, Schiaparelli S, 2019. Underwater Photogrammetry in Antarctica: long-term observations in benthic ecosystems and legacy data rescue. *Polar Biology*, 42 (6): 1061-1079.
- Polat N, Önal M, Kaya Y, Memduhoğlu A, Kaya N, Ulukavak M, Mutlu S, 2021. Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2): 594-601.
- Raoult V, David P A, Dupont S F, Mathewson C P, O'Neill S J, Powell N N, Williamson J E, 2016. GoPros™ as an Underwater Photogrammetry Tool For Citizen Science. *PeerJ*, 4: e1960.
- Rossi P, Castagnetti C, Capra A, Brooks A J, Mancini F, 2020. Detecting Change in Coral Reef 3D Structure Using Underwater Photogrammetry: Critical Issues and Performance Metrics. *Applied Geomatics*, 12 (1): 3-17.
- Sanz-Ablanedo E, Chandler J H, Rodríguez-Pérez J R, Ordóñez C, 2018. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as A Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sensing*, 10 (10): 1606.
- Sefercik U G, Tanrikulu F, Atalay C, 2020. SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Fotogrametrik 3B Modelleme Potansiyellerinin Karşılaştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2 (2): 39-45.
- 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.
- 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.

- Şenol H İ, Memduhoglu A, Ulukavak M, 2020. Multi Instrumental Documentation and 3D Modelling of an Archaeological Site: A Case Study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3): 1241-1250.
- 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.
- Telem G, Filin S, 2010. Photogrammetric modeling of underwater environments. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65 (5): 433-444.
- Van Damme T, 2015. Computer vision photogrammetry for underwater archaeological site recording in a low-visibility environment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5): 231.
- Vogler V, Schneider S, Willmann J, 2019. High-Resolution Underwater 3-D Monitoring Methods to Reconstruct Artificial Coral Reefs in the Bali Sea: A Case Study of an Artificial Reef Prototype in Gili Trawangan. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 275-289.
- Vogler V, 2019. Close Range Underwater Photogrammetry for High Resolution Survey of a Coral Reef: A Comparison between Reconstructed 3-D Point Cloud Models from Still Image and Video Data. In *Tagungsband zur Konferenz Go-3D*, 107-20.
- Wang Y, Ji Y, Woo H, Tamura Y, Tsuchiya H, Yamashita A, Asama H, 2020. Acoustic Camera-Based Pose Graph SLAM for Dense 3-D Mapping in Underwater Environments. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 46 (3): 829-847.
- Yakar M, Yılmaz H M, 2008. Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23 (2): 25-33.
- Yakar M, Yılmaz H M, Mutluoğlu Ö, 2009. Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama Ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 11-15 Mayıs, Ankara
- Yamafune K, 2016. Using Computer Vision Photogrammetry (Agisoft Photoscan) to Record and Analyze Underwater Shipwreck Sites. *Texas A&M Üniversitesi, Doktora Tezi*, 82-94s, Texas.
- URL-1: <https://skfb.ly/ots6s>
- URL-2: <https://skfb.ly/ots6B>