

Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması

Seda Nur Gamze Hamal*¹, Ali Ulvi¹

¹Mersin University, Institute of Science, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Mersin, Turkey

Anahtar Kelimeler

Su altı fotogrametrisi
ROV
Görüntü işleme
3B modelleme

ÖZ

Bu çalışmada; Su Altı Fotogrametri (SAF) yöntemleri ve kullanım alanları irdelenmiş, su altı fotogrametrisi ile alakalı yapılan çalışmalar araştırılmış ve genel bilgiler sunulmuştur. Su altı fotogrametrisi çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. En çok kullanıldığı alanların başında, su altında gemi enkazları gibi arkeolojik kalıntıların ve mercan resiflerinin 3B modellenmesi gelmektedir. Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure from Motion-SfM) olarak bilinen nesnelerin hareketli kayıtlarından üç boyutlu (3B) verilerin üretilebildiği yöntem, su altı fotogrametrisinde de kullanılmaktadır. Ayrıca diğer fotogrametri yöntemlerinde kullanılan yazılımlar su altı fotogrametrisinde de kullanılabilir. Fakat yapılan uygulamalarda; Diğer fotogrametri yöntemlerinde çekilen fotoğraflara göre su altında çekilen fotoğraflarda; yazılımlarda değerlendirilmeden önce renk ve kontrast düzeltmesi, gölgeleri kaldırma ve açık ton azaltma gibi bazı düzeltmelerin görüntü işleme ile uygulanması gerektiği öngörülmüştür. Diğer fotogrametri yöntemleri gibi su altı fotogrametrisi de teknolojik gelişmelere ayak uydurmuştur. Özellikle ilk başlarda dalgıçlar aracılığı ile uygulanan su altı fotogrametrisi günümüzde İnsansız Su Altı Araçları (İSAA)'nın kullanımı ile yeni bir ivme kazanmıştır. Bu çalışma ile su altında yapılan uygulamalar araştırılmış ve okuyuculara aktarılmıştır. Su altı fotogrametrisi literatürde kullanılsa da üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye sınırları içerisinde çok az uygulama alanı bulmaktadır. Bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara yönelik böyle bir eksiklik görüldüğü için su altı fotogrametrisi hakkında genel bir bakış yapılmıştır.

A Literature Study on Underwater Photogrammetry Method and Usage Area

Keywords

Underwater
photogrammetry
ROV
image processing
3D modeling

ABSTRACT

In this study; Underwater Photogrammetry (UWP) methods and their usage areas are discussed. Studies on underwater photogrammetry have been researched and general information has been presented. Underwater photogrammetry is used for various purposes. It is mostly used in 3D modeling of archaeological remains such as shipwrecks and coral reefs. The method known as Structure from Motion (SfM), in which three-dimensional (3D) data can be generated from motion records of objects, is also used in underwater photogrammetry. In addition, software used in other photogrammetry methods can also be used in underwater photogrammetry. But in the applications: There are differences in the photographs taken under water compared to the photographs taken in other photogrammetry methods. It was predicted that some corrections such as color and contrast correction, removing shadows and highlight reduction should be applied with image processing before being evaluated in software. Like other photogrammetry methods, underwater photogrammetry has kept pace with technological developments. Especially in the beginning, underwater photogrammetry, which was applied by divers, has gained a new momentum with the use of Unmanned Underwater Vehicles (UUV). With this study, underwater studies were researched and presented to researchers. Underwater photogrammetry also find little in the literature uses the application area within the borders of Turkey. Since such a deficiency was observed for researchers who will work in this field, general information about underwater photogrammetry was given.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, çağlar boyunca gerek gündelik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gerekse diğer yaşamsal faaliyetleri sürdürebilmek için birçok nesne üretmiştir. Bu durum, bugün taşınır ve taşınmaz kültür varlıkları diye adlandırılan (T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, 2020) maddi kalıntıların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yapıldıkları dönemden bugüne bilgi taşıyan, geçmiş ile bugün arasında fiziki köprü işlevi gören somut kültür varlıklarının tespit ve değerlendirme çalışmaları büyük bir özveriyle sürdürülmektedir (Doğan ve Yakar, 2018; Ulvi vd., 2020; Şasi ve Yakar, 2018). Yılmaz vd., (2018). Bu kültür varlıklarının bazıları bugün deniz kıyısında ve su altında bulunmaktadır. Gemi batıkları, limanlar, amforalar ve çapalar bunlardan bazılarıdır.

Dünyanın su altındaki zengin kültürel mirası ne sivil alanda ne de akademi alanında gerektiği kadar ilgi görmemektedir. Ana karada yer alan kültürel miras alanlarında medeniyetlerin gelişim süreçlerine ışık tutacak nitelikte bol miktarda bilgi sağlanmış olsa da dünyanın büyük kısmını kaplayan sulardaki sırlar halen gün ışığına çıkartılmayı beklemektedir. Bununla birlikte su altında, ana karada bulunan alanlara nazaran çok daha iyi korunmuş şehir kalıntıları bulunmaktadır (Su altı Kültürel Mirası İzleme Grubu, 2020).

Gelişen teknoloji, insanlara yaşadığı çevreyle ilgili bilgileri farklı yöntemlerle toplama ve 3B modelleme fırsatları sunmaktadır (Bojakowski vd., 2015; Bruno vd., 2019, Canciani vd., 2003; Ulvi, 2018; Hamal vd., 2020; Yakar vd., 2005). Zamanla bu modellerin kullanım alanları da artmıştır. 3B modellemenin kullanım alanlarından bazıları mühendislik, akıllı şehir uygulamaları ve şehir modellerinin üretimi; tarım, maden, ulaşımdan kültürel yapılara kadar birçok alanda kullanılmaktadır (Ulvi ve Toprak, 2016; Ulvi vd., 2019; Ünal vd., 2004; Yakar vd., 2016).

3B modelleme tekniklerinden biri de iki boyutlu (2B) çekilen fotoğraflar yardımıyla yeryüzündeki nesnelerin konumunu, şeklini ve boyutunu belirlemeye yarayan ve 3B bilgisini çıkarmayı sağlayan fotogrametri yöntemidir (Chiabrando vd., 2017; Sarı vd., 2020). Ayrıca fotogrametri: Photos (ışık), Grama (çizim) ve Metron (ölçme) kelimelerinden oluşan ve ışık yardımı ile ölçme anlamına gelen ve nesnelerin; şekil, konum, büyüklük ve görünüş bilgilerine ulaşılabilen bir bilim dalıdır (Yiğit vd., 2018). Fotogrametrinin en temel materyali fotoğraftan oluşmaktadır. Fotogrametri, fotoğraf çekim hatalarından kaynaklanan distorsiyonlar giderildikten sonra yani fotoğrafta oluşan hataların elimine edilmesi ile birlikte 3B model üretebilen bir tekniktir (Lallensack vd., 2020; Korumaz vd., 2011). Fotogrametri genel olarak fotoğraf çekim konumuna göre Yersel, İHA, Hava ve Uzay fotogrametrisi olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Bandini vd., 2020; Özdemir,

2020; Taşdemir ve Özkan, 2019; Senkal vd., 2021; Yakar vd., 2020).

Su altını fotoğraflayabilen kameraların üretilmesiyle beraber bu alanlara su altı fotogrametrisi de eklenmiştir. Bu sayede 3B modelleme ile deniz altı topografyası ve bitki örtüsünün yanı sıra su altı batıklarının modellenmesi gibi farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır (Köseoğlu ve Kocaman, 2018).

2. SU ALTI FOTOGRAMETRİSİ

Nesne ile teması olmadan su altında 2B çekilen fotoğraflar yardımıyla 3B model oluşturulmasına su altı fotogrametrisi denir (Ahmad vd., 2020; Barsanti vd., 2014; Capra vd., 2017; Kaya vd., 2019). Bu fotogrametrik yöntem sayesinde su altında birçok nesnenin 3B modeli oluşturulabilmektedir.

3B model oluşturabilmek için su altı kamerasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçüm sırasında ya dalgıçlar kamerayla görüntü sağlayabilir ya da su altı aracına monte edilmiş kamerayla görüntü sağlanabilmektedir (Drap vd., 2007; Figueira vd., 2015).

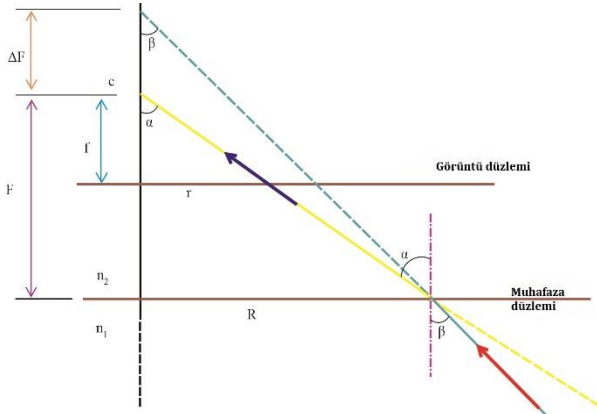
Su altında fotogrametrik yöntemlerin ve optik kameraların kullanımı nispeten yeni bir araştırma alanı olmuştur (Kocaman vd., 2017; Gruen vd., 2017). Su altında ışık ışınları kırılma indislerine sahip oldukları için, yansımadan kaynaklı renk değişimleri ve görüntü eşleştirme sorunları bulunmaktadır. Bu sorunlar 3B modellemeye zorluklar getirmektedir (Guo vd., 2016; Quattrini vd., 2016). Bu nedenle, ışık kırılmalarının neden olduğu bu sorunu gidermek için distorsiyonu giderilmiş görüntüler ile çalışmak üretilen modelin doğruluğunu artıracaktır. Optik kameralarla açık havada ve su altında çekilen fotoğraflar farklı karakteristik özelliklere sahiptir. Bunun temel nedeni ise güneş ışınlarının farklı yoğunluktaki ortamlarda farklı açılarda kırılmasıdır.

Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi (2020), (National Snow and Ice Data Center-NSIDC) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, deniz yüzeyine gelen güneş ışınlarının yaklaşık %94'ü suyla etkileşime girer ve su tarafından tutulur. Yeryüzüne bağlı olarak güneşin yüksekliği, günün hangi vakti olduğu, mevsim ve deniz suyunun koşulları suyun yansıtılma veya soğurulma miktarını etkilemektedir (Menna vd., 2016). Bu nedenle su altı fotogrametrik çalışmalarında mevsim, sıcaklık ve hangi saatler arasında fotoğraf çekilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir (Menna vd., 2016).

Su altı fotogrametrisinde kameraların kullanılması, görüntüleme sisteminde hem kamera hem de muhafaza cihazına gelen ışınlar kırılmaya neden olarak 3B modelleme sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Su altı kameraları genellikle havayla dolu bir su altı muhafazasına hapsedilir. Bu muhafaza cam parçalarından oluşmaktadır (Kwon ve Casebolt 2006; Marre vd., 2019). Bu camın düz bir port olması durumunda kamera muhafazasına giren

ışık ışınlarından biri su-cam ara yüzünde; diğeri ise cam-hava ara yüzünde olmak üzere iki kez kırılır. Ancak su-cam ara yüzünde kırılma çok az olduğu için yok sayılmaktadır. Su-hava ara yüzündeki kırılmayı düzeltmek için temel fizik yasalarından olan Snell yasasına dayanarak kırılma açıları (α kırılma açısı; β geliş açısı) hesaplanabilir (Eşitlik 1). Eş doğrusallığı korumak için önerilen geometrik ilişkileri izleyerek su ortamına bir adaptasyon sunar (Telem ve Filin 2010).

Görüntüleme sisteminde Şekil 1'de gösterilen parametreler bulunmaktadır. Bunlar; f odak uzaklığı, F perspektif merkezden muhafaza ara yüzüne olan mesafe, r görüntü noktasının ana noktadan radyal mesafesi, R ara yüzeydeki optik ekseninden ışının kırılan noktasına kadar olan mesafesi, ΔF ışık ışınları kırılmadığı varsayarak optik eksen boyunca alacağı yol, n_1 ve n_2 kırılma ölçüğü ile ifade edilmektedir (Telem ve Filin 2010).



Şekil 1. Su altı ışın diyagramı (Telem ve Filin 2010).

Şekil 1'de kesintisiz çizgi, odak düzlemini karşılamak için ara yüzünde kırılıp gelen ışını gösterir. Gerçek perspektif merkezi, görüntü düzleminde f mesafesindeyken, değiştirilmiş perspektif merkezi, optik eksen boyunca ΔF ile kaymıştır. Muhafaza ara yüzü, gerçek perspektif merkezinden F uzaklığındadır (Telem ve Filin 2010; Treibitz vd., 2011).

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin(\beta) = n * \sin(\alpha) \quad (1)$$

$$\tan(\beta) = \frac{R}{F + \Delta F} \quad (2)$$

$$R = \frac{F}{f} * r \quad (3)$$

$$\Delta F = F * \left(\frac{\sqrt{1 - n^2 * (1 - \cos^2(\alpha))}}{n * \cos(\alpha)} - 1 \right) \quad (4)$$

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 bağıntıları türetilerek Eşitlik 3'teki bağıntısı ile ara yüzeydeki optik eksenin kırılan noktasına kadar olan mesafesi elde edilmiş olur. Eşitlik 4'te de Eşitlik 3 bağıntısından yararlanarak ışık ışınları kırılmadığı varsayarak optik eksenin alacağı yol hesaplanmış olur. Böylelikle perspektif merkezi kırılma etkisinin bir sonucu olarak, optik eksen boyunca kaydırılır. Sonuç olarak geometrik bozulmalar düzeltilmiş olur (Telem ve Filin 2010).

2.1. Derin Sularda Fotogrametri

Son yıllarda yeni bir araştırma konusu olan derin sularda fotogrametrik çalışmaları birçok kalıntıların gün yüzüne çıkarılmasına yardımcı olmaktadır. Bir dalış uzmanı eğitimlerini aldıktan sonra en fazla 42 m derinliğe inme imkânı vardır (Su altı Federasyonu, 2020). Bu nedenle 42 metreden daha derin yerde ölçüm yapabilmek için İnsansız Su Altı Araçları (İSAA) geliştirilmiştir (Canlı vd., 2015).

İSAA'lar temel olarak Kablo Kontrollü ve Kablosuz-Otonom olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Kablo kontrollü olan "ROV" (Remote Operating Vehicle), otonom olan ise "AUV" (Autonomous Underwater Vehicle) olarak adlandırılmaktadır (Canlı vd., 2015).

ROV, en genel tanımı ile bir operatör tarafından uzaktan kontrol edilerek su altında mühendislik veya farklı amaçlara yönelik bir dizi işlevi yerine getiren bir su altı robotudur. Dolayısıyla bir ROV sistemi; aracın yanı sıra, aracı kontrol eden operatör, operatörün bu kontrolü sağladığı donanımlar, aracı yüzeye bağlayan kablo ve aracın suya indirilip geri alınmasını sağlayan vinç düzeneklerinden oluşmaktadır (Canlı vd., 2015).

Drap vd., (2015) çalışmaları ele alındığında derin sularda fotogrametri yapma koşulları ve yöntemlerinin irdelendiği görülmektedir. Araştırmada uzaktan kumandalı araca monte edilmek üzere tasarlanmış ROV aracı tercih edilmiştir (Şekil 2). Operatör yerleşik aracın içi ile yüzeydeki sistem arasında yüksek hızlı bir Ethernet bağlantısı aracılığıyla alım ünitesine doğrudan erişim sağlamaktadır (Drap, 2012; Drap vd., 2015). ROV aracına 3 adet kamera yerleştirilmiş ve kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Tablo 1'de kamera özellikleri verilmektedir.



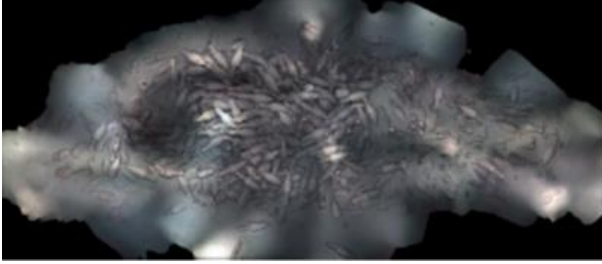
Şekil 2. ROV aracı (Drap vd., 2015)

Tablo 1. Kameraların özellikleri (Drap vd., 2015)

AVT PROSILICA GT1920	Değerler
Özellikler	
Görüntü Boyutu	1456x1936
Odak Uzaklığı	5.7578 mm
Sensör boyutu	6.61x8.789
AVT PROSILICA GT6600	Değerler
Özellikler	
Görüntü Boyutu	4384x6576
Odak Uzaklığı	28.72 mm
Sensör boyutu	24x36

Derin sularda güneş ışınları yeterli miktarda suya giremediği için fotogrametrik alım yapmak çok zordur. Bu nedenle ROV aracına daha iyi görüntüler elde edebilmek için iki adet LED ışık monte edilmiştir (Drap, 2012; Drap vd., 2015).

Kalıntı 328 m derinliğinde bulunmaktadır ve yaklaşık 2 saatlik dalış gerçekleştirilmiştir. Toplam 12.000 fotoğraf çekilmiş ve çekilen fotoğraflar Agisoft Photoscan yazılımında işlenmiştir. Kalıntının 3B modeli Şekil 3'te ve amforaların yakından görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 3.** Kalıntının 3B modeli (Drap vd., 2015)**Şekil 4.** Kalıntıda amforaların yakından görüntüsü (Drap vd., 2015)

2.2 Engelibeli Alanlarda Su altı Fotogrametrisi

Su altı fotogrametrisinde ölçüm sırasında bazı kısıtlamalar oluşmaktadır. Bunlardan birisi de su altı alanının engelibeli olması durumudur. Bu tip alanlarda ROV aracının kullanılması önerilmez, bu yüzden dalgıçlar fotoğraflar çekerek fotogrametrik ölçüm yapabilirler.

**Şekil 5.** Doğrusal ölçek çubukları, demir çubuklar, ölçüm bantları, şamandıralar, numaralı etiketler ve pusula (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

Abdelaziz ve Elsayed (2019), çalışmalarını gerçekleştirdikleri alanda düzensiz olarak değişen 2 m ve 9 m aralıklarla derinlikler bulunmaktadır. Bu nedenle kamerayı monte edilebilecek yandan taramalı sonar, AUV veya ROV gibi modern ekipmanlar kullanılamamıştır. Böylece veri toplama yöntem ve teknikleri alanın topografyasına uygun olarak Şekil 5'teki görülen ekipmanlar aracılığıyla yapılmıştır.

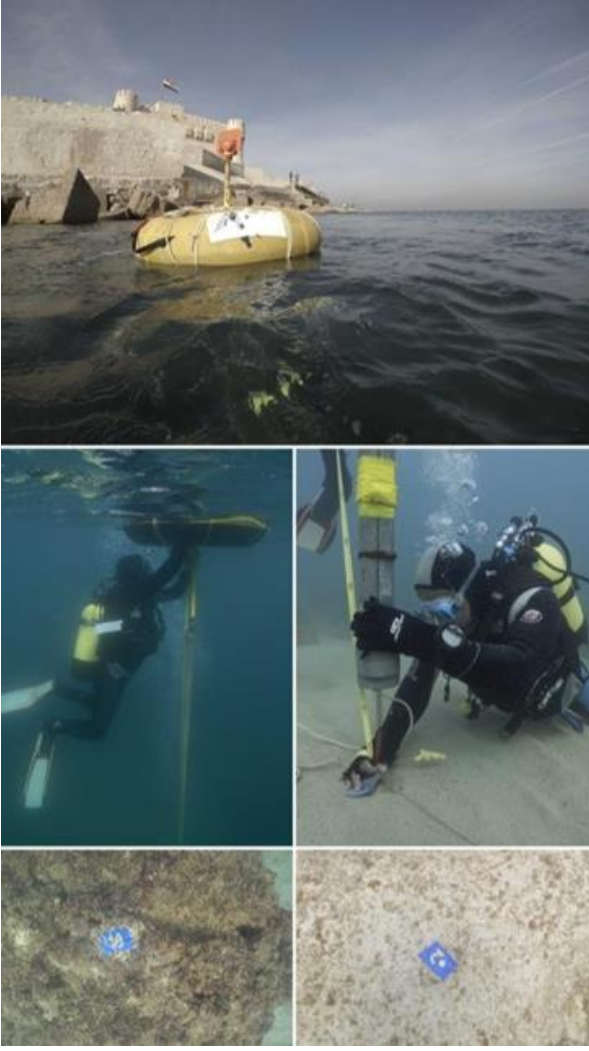
Ölçülecek alan 2 m genişliğinde şeritlere bölünmüş olup, demir çubuklarla tutturulmuştur (Şekil 6). Şeritler; fotoğrafı çeken kişiye rehberlik etmek, referans noktalarını göstermek, hareketinin düz bir çizgide olmasını sağlamak ve alanın üst üste bindirmesini kontrol etmek amacıyla yapılmıştır. İkinci aşamada ise kalan alanların fotoğraflarını çekerken zamandan tasarruf etmek amacıyla sadece ölçüm bantlarından yararlanılmıştır (Abdelaziz ve Elsayed, 2019).

**Şekil 6.** Yer kontrol noktalarının gösterimi (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

Ölçüm sırasında Nikon D700 sabit 24 mm lens kamerası kullanılmıştır. Tüm çekimler flaşsız manuel mod ile gerçekleştirilmiştir. 7200 m²'lik alanda 26 hafta boyunca çalışma gerçekleştirilmiş olup toplamda 50152 adet fotoğraf çekilmiştir.

Su altında bulunan askıdaki parçacıklar ve suyun bulanıklığı gibi durumlardan dolayı çekilen fotoğrafların birleştirmesinde zorluklar yaşanabileceğinden dolayı fotoğrafı çeken kişi ile nesne arasında maksimum 3 m ve minimum 1.65 m uzaklık olacak şekilde fotoğraf çekilmiştir. (Abdelaziz ve Elsayed, 2019).

Yüzey kabartmalarını yakalamak amacıyla fotoğraflar 45°'lik açıyla çekilmiştir.



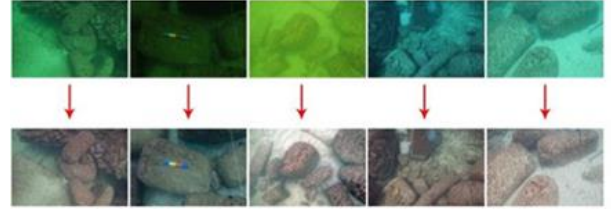
Şekil 7. Yer kontrol noktalarının belirlenme aşaması (Abdelaziz ve Elsayed, 2019).

Şekil 7’de gösterilen yer kontrol noktalarının yerini belirlemek için ana kayanın düz yüzeyine küçük numaralı etiketler demir çubuklara sabitlenerek yerleştirilmiştir. Bu noktaların sabit durması için tabana sabitlenmiş bir ipe yüzen 20 kg ağırlığında şamandıralar tutturulmuştur (Abdelaziz ve Elsayed, 2019).

3B model oluştururken fotoğraflardaki suyun bulanıklığı ve görüntülerin renginin değiştiren ışık eksikliği, ayrıca mavi ve yeşil tonlarının baskın olduğu görülmüştür (şekil 8).



Şekil 8. Ham fotoğrafların 3 boyutlu görseli (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)



Şekil 9. Photoshop program kullanıldıktan sonra fotoğraflar arasındaki farklar (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

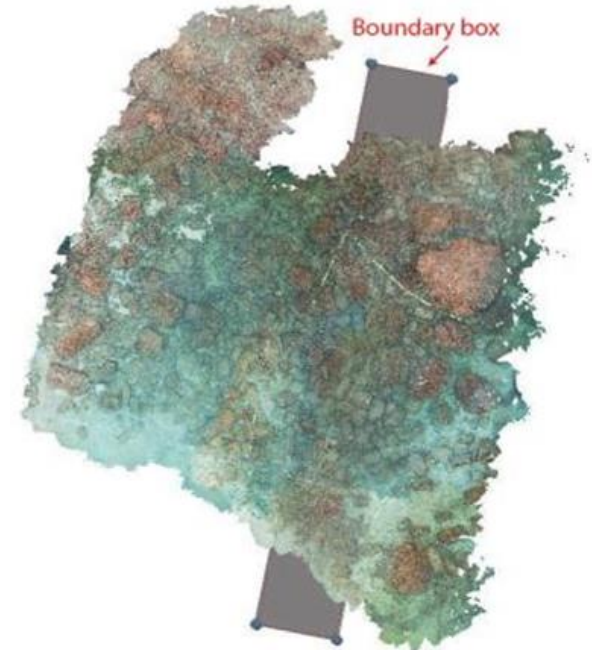
Bu fotoğraflara görüntü işleme için renk düzeltmesi, kontrast, gölgeleri kaldırma ve açık ton azaltma gerekmektedir. Bunun için Adobe Lightroom ve Photoshop programları kullanılmıştır.

Şekil 9’da görüntü işleme yapılmadan önce ve yapıldıktan sonraki farklar gösterilmektedir.

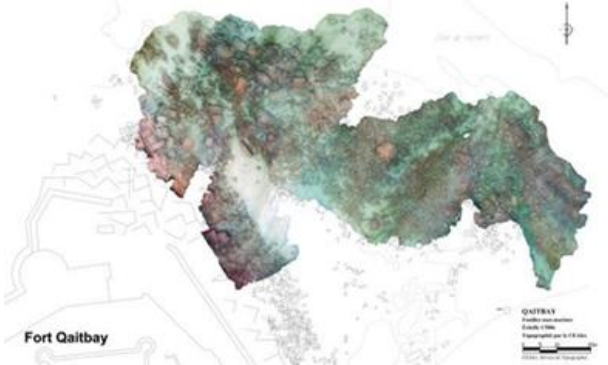
Kamera otomatik olarak matematiksel algoritmalarla kalibre edilmiştir. Kalibre edilmemiş görüntüler yazılım içinde otomatik olarak hesaplanmıştır.

Alanın modellenmesi için Agisoft Metashape programı kullanılmıştır. Modellemeden önce çakışan resimlerdeki özellikleri otomatik olarak tanımlamak ve eşleştirmek için ‘özellik algılama algoritması’ kullanılmıştır. Yazılım, algılanan özelliklere ve kamera kalibrasyon parametrelerine göre otomatik olarak birbiriyle ilişkili resimleri hizalamaktadır. (Van Damme, 2015).

Son olarak ise su altı dibinden fotoğrafı çeken kişi ile 3 m mesafe ve kamera açısı: 45°, iki fotoğraf arasındaki açı 4° olacak şekilde parametreler düzenlenmiştir. Bu teknik kullanılarak oluşturulan 3B nokta bulutu modeli şekil 10’da ve 3B katı (mesh) model Şekil 11’de gösterilmektedir.

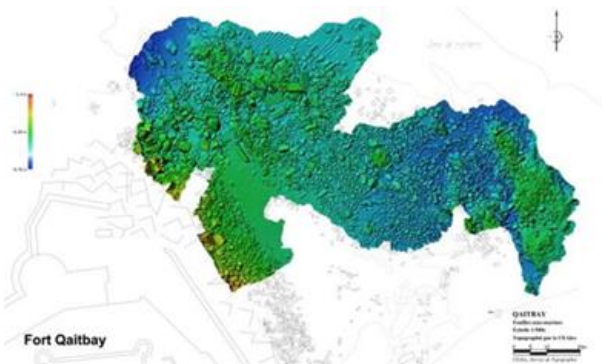


Şekil 10. Nokta bulutu görseli (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)



Şekil 11. Katı (mesh) model görseli (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

Modelin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) görüntüsü Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. SYM (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

2.4. Sığ sularda Su altı Fotogrametrisi

Su altı fotogrametrisinde sığ alanların ölçümünde çalışma alanının topografik yapısına göre dalgıçlar veya ROV, AUV ve sonar gibi cihazlarla ölçüm yapılabilmektedir.

Beltrame ve Costa (2018) çalışmaları ele alındığında Sicilya bölgesinde bulunan M.S. 2. Yüzyıldan kalma yarı işlenmiş mermer blok ve kolonların araştırılması, belgelenmesi ve analizi yapılmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Mermer bloklar (Beltrame ve Costa, 2018)

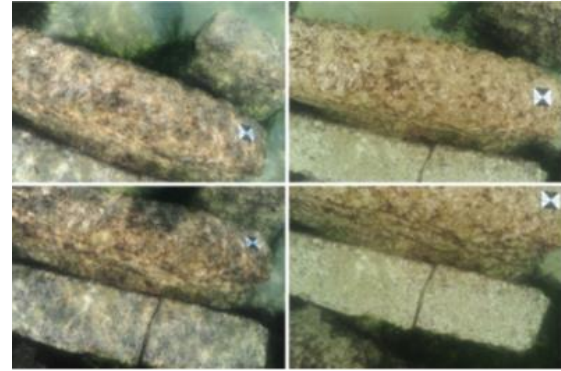
Mermerin blokları; fotoğraf taramasına hazırlamak ve iyi bir dokümantasyon elde etmek için kum, deniz yosunu ve betonlardan temizlenmiştir.

Deniz yosunu, mermer bloğun herhangi bir bölümünü bir görüntüden diğerine farklı şekillerde gizlerse yazılım pikselleri tanıyamaz (Baletti vd., 2015). Sonuç olarak, bu bölümü aynı öge olarak tanımlamazsa üzerine bir referans noktası oluşturamaz (Beltrame ve Costa, 2018; Baletti vd., 2015; Baletti vd., 2016).

Fotoğraf çekimden önce belirlenen mermer bloklara yer kontrol noktaları yerleştirilmiştir (Şekil 14). Fotoğraflar için yarım küre kubbeli bir su altı kılıfı bulunan 20 mm lensli dijital tam çerçeveye sahip Tablo 2’de kamera özellikleri verilen Nikon D700 kullanılmıştır.

Tablo 2. Nikon D700 Kamera özellikleri (Beltrame ve Costa, 2018)

Özellikler	Değerler
Görüntü Boyutu	4256x2832
Piksel boyutu	8.4 mikron
Çözünürlük	12Mp



Şekil 14. Yer Kontrol Noktalarının gösterimi (Beltrame ve Costa, 2018)

Sığ ve sahile yakın olması nedeniyle GPS ile RTK ölçümü yapılmıştır ve standart sapması ± 0.021 m civarındadır.

Alanı modellemek için Agisoft Metashape programı kullanılmıştır. Yazılım, algılanan özelliklere ve kamera kalibrasyon parametrelerine göre otomatik olarak birbiriyle ilişkili resimleri hizalamaktadır. Modelleme sonucunda maksimum hata ± 2.6 cm olarak hesaplanmıştır (Beltrame ve Costa, 2018). Blokların 3B görseli Şekil 15’te verilmektedir.



Şekil 15. Blokların 3B Modeli (Beltrame ve Costa, 2018)

2.5. Kıyı alanlarda Fotogrametri

Kıyı erozyonları, suların yıllara göre azalması veya artması durumunu izleme gibi durumlar söz konusu olduğu zaman su altı fotogrametrik ölçümlerine başvurulabilmektedir. Bu ölçümler İHA, ROV, AUV, dalgıçlar gibi birçok ölçme araçları bulunmaktadır.

Barrile vd., (2019) çalışması ele alındığında İtalya'da kıyı erozyonu ile ilgili araştırmalar yapmışlardır.

Kıyı ölçümü yapılacak alanın öncelikle İHA ile görüntüsü alınmıştır. Kullanılan İHA modeli 20Mp fotoğraf çekebilen bir kamera ile donatılmış Dji Phantom 4 Pro'dur (Şekil 16).

Ölçülecek alanın öncelikle görüntü elde etme planı oluşturulmuştur. Sonraki adımda uçuş yüksekliği 30 m, görüntü bindirme oranı %80 ve kamera açısı da 90° olarak ayarlanmıştır. Uçuşlar tam otomatik olarak gerçekleştirilmiştir (Barrile vd., 2019).



Şekil 16. Dji Phantom İHA (Barrile vd., 2019)

Kıyının zemininin ölçümünü yapabilmek için ROV aracı kullanılmıştır. ROV aracında kontrol elektroniği ve operatör tarafından fotoğraf çekebilmesi için kamera bölümü bulunmaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. ROV aracı (Barrile vd., 2019)

Kontrol elektroniği yüzeyle iletişim ve otomatik kalibrasyon işlemlerinden oluşmaktadır.

ROV IMU (üç ivmeölçer, üç jiroskop, üç manyetometre), basınç sensörü ve kilometre sayacı bulunan yerleşik sensörler içermektedir.



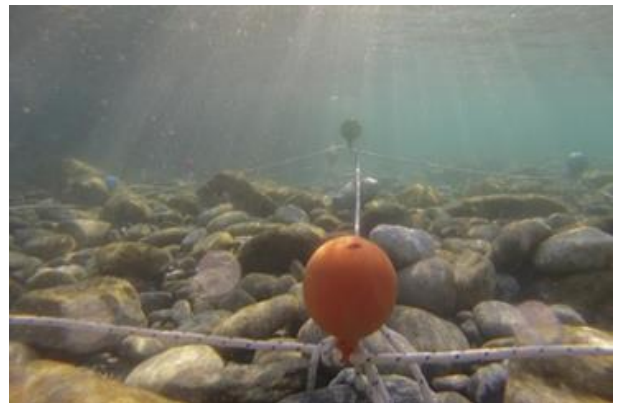
Şekil 18. ROV aracı ile iletişimi kurulan bilgisayar (Barrile vd., 2019)

ROV cihazına uygun bir kablo aracılığıyla bilgisayara (tekneye yerleştirilmiş) bağlantısı sağlanmıştır (Şekil 18).

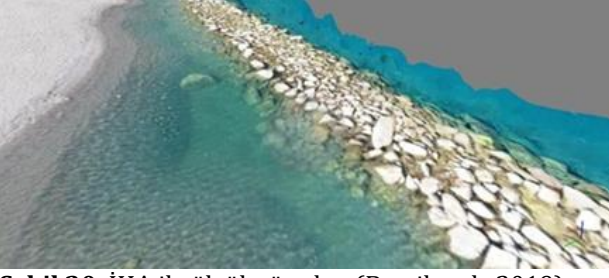
ROV ölçümü, 4 m derinlikten başlayarak gerçekleştirilmiştir. Görüntü elde etme işleminin düşük doğal aydınlatma koşullarında gerçekleşmesi istenilen fotoğrafları çekmeye engel oluşturmaktadır. Bundan dolayı ek ışık kaynakları kullanılmıştır (ROV aracının ışığı).

Deniz dibinde oluşturulmuş bir ızgaranın (hem bariyerden hem de derinliğin bilindiği yerlerde) konumlandırılması modelin ölçeklendirilmesini sağlamıştır (Şekil 19).

Model konumuyla ilgili olarak, deniz dibine yerleştirilmiş ızgaranın her noktasına bir şamandıra (su yüzeyinde) bağlanmış ve ardından Leica GS08 GPS ile şamandıraların planimetrik koordinatları ölçülmüştür. Izgara noktalarının koordinatlarını elde etmek için yükseklik değerini derinlik değeriyle değiştirilmiştir. Önceden şamandıranın yüzeyde tutulması için gerekli olan ipin uzunluğuyla ölçülmüştür (Barrile vd., 2019; Liarokapis vd., 2017).



Şekil 19. Su dibine yerleştirilen ızgaralar (Barrile vd., 2019)



Şekil 20. İHA ile ölçülmüş alan (Barrile vd., 2019)

İHA ile çekilen görüntüler Agisoft yazılımında 3B modellemesi için kullanılmıştır. Yazılımda ilk olarak fotoğrafların hizalama işlemi yapılmıştır. Hizalamanın ardından kontrol noktaları yazılıma aktarılmıştır. Yer kontrol noktaları eklendikten sonra nokta bulutu oluşturulmuştur (Şekil 20). Son adımda da nokta bulutlarından katı (mesh) model elde edilmiştir (Barrile vd., 2019).

Renkler, derinlik, mevsim, su yüzeyi koşulları, günün saati, gökyüzünün bulanıklığı, deniz bitki örtüsünün varlığı veya toprak tipi gibi faktörlere bağlıdır. Dahası, kırılmanın etkisi (derinlik, sıcaklık ve tuzluluk gibi bir dizi parametreye bağlı olarak) kararsız modelleme etkilerine neden olabilir, bu nedenle batık bir kameranın iç parametreleri birincil değerlere göre önemli ölçüde değişir (Barrile vd., 2019; Henderson vd., 2013; Lavest vd., 2003)

3B gibi tüm görüntü tabanlı uygulamalar özellikle renk düzeltmesi açısından bir görüntü geliştirmeye ihtiyaç duyar. Literatürde, görüntü iyileştirme tekniklerine dayanan daha gerçekçi bir görüntü üretmek için birçok görüntüleme tekniği önerilmiştir.

Bu çalışmada görüntüleri iyileştirmek için Adobe Photoshop programı kullanılmıştır. Görüntülerin kontrast ve keskinliği artırılmıştır. Bu düzeltme için "Koyu ve Açık Renkleri Bul" otomatik algoritması kullanılmıştır. Yazılıma göre, bu algoritma görüntüyü koyu ve açık renkleri bulmak için analiz eder ve bunları gölge ve vurgu renkleri olarak kullanır. "Nötr Orta Tonları Yapış" seçeneği de işaretlenmiştir. Bu, orta tonları nötre yakın renkler hedef nötr renge eşlenecek şekilde ayarlanmıştır (Barrile vd., 2019; Drap vd., 2007; Drap vd., 2015).

Adobe Photoshop tarafından iyileştirilen fotoğraflar Agisoft yazılımına aktararak İHA ölçümünden elde edilen fotoğraflardaki gibi birleştirme işlemi yapılmış ve yer kontrol noktaları yazılıma eklenmiştir (Barrile vd., 2019). Elde edilen 3B nokta bulutu görseli Şekil 21'de gösterilmektedir.



Şekil 21. ROV ile ölçülmüş alan (Barrile vd., 2019)

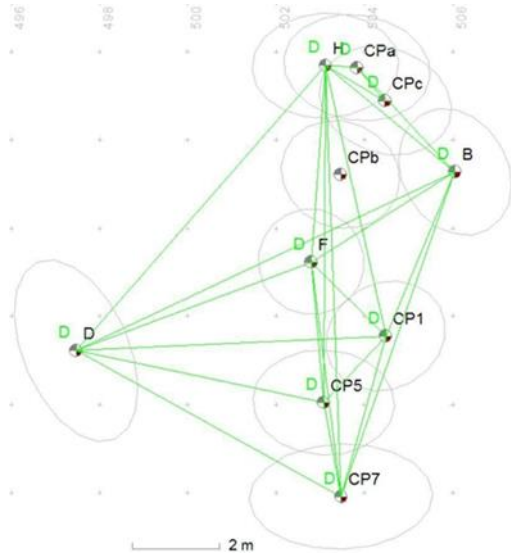


Şekil 22. İHA ve ROV ölçüleri sonucunda birleştirilmiş görsel (Barrile vd., 2019)

Yer kontrol noktalarını referans olarak kullanarak İHA fotoğraflarından elde edilen nokta bulutları ile ROV fotoğraflarından elde edilen nokta bulutu birleştirilmiştir. Oluşan görüntü Şekil 22'de gösterilmektedir.

Costa (2019) çalışmasında arkeolojik bir araştırma olan su altında amforalar üzerine fotogrametrik bir çalışma yapmıştır.

Araştırmanın ilk aşamasında su altında doğrudan ölçüm olan üçgenleme yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik, arkeolojik alandaki noktaların derinliğini elde etmek için bir dizi kontrol noktasından (trilaterasyon) oluşur (Bojakowski vd., 2015; Costa, 2019) (Şekil 23 ve Şekil 24).



Şekil 23. Üçgenleme işlemi (Costa, 2019; Bojakowski vd., 2015)



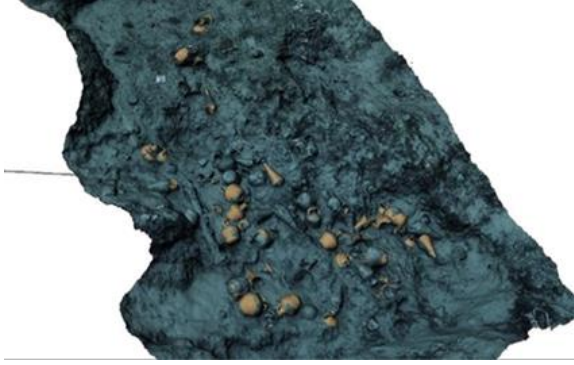
Şekil 24. Yer Kontrol Noktalarının tesisi (Costa, 2019; Bojakowski vd., 2015)

Tablo 3. Kameraların özellikleri (Costa, 2019)

Nikon D700 Kamera Özellikler	Değerler
Görüntü Boyutu	4256x2832
Piksel boyutu	8.4 mikron
Çözünürlük	12Mp
Nikon D610 Kamera Özellikler	Değerler
Görüntü Boyutu	6016x4016
Piksel boyutu	5.9 mikron

Ölçüm sırasında Tablo 3'te özellikleri verilen Nikon D700 sabit 20 mm lens kamerası ve Nikon D610 sabit 20 mm lens kamerası kullanılmıştır.

Elde edilen görüntülerde ilk olarak radyal bozulmalar düzeltilmiştir. Ardından Agisoft Photoscan programına görüntüler aktarılmıştır. Önceden ölçülen yer kontrol noktaları referans alınarak model birleştirilmesi yapılmıştır. Şekil 25'te gösterilen modelin ortalama hatası ± 0.0024 m olarak hesaplanmıştır (Costa, 2019).

**Şekil 25.** Kalıntının 3B katı model görseli

3. SONUÇLAR

Kültürel Mirası belgelemek için 3B ölçme teknikleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dijital teknolojilerin özellikleri doğruluk, taşınabilirlik, düşük maliyet ve hızlı edinimdir ve bu özelliklerin her biri arkeolojik alanlarda, özellikle de amfora yükü olan gemi enkazlarında önemlidir. Su altı fotogrametri, arkeoloji için çok yararlı bir araç olabilir:

Literatür taramasında çalışmaların kısa sürede ve verileri elde etme açısından kolaylık sağladığı görülmüştür. Dijital teknikler santimetre mertebesinde bir doğrulukla sanal bir model oluşturmak için önemlidir. Geometrik doğruluk oluşturulduktan sonra güvenilir 3B modeller üretilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemlerle, teknik açıdan hassas bir dokümantasyon elde edebilir.

Mevcut çalışmalardan da anlaşılacağı gibi su altı fotogrametrisini, derinliklere bağlı olarak sınıflandırmak mümkündür.

Su altı fotogrametrisinde dalgıçlarla olan ölçümler düşük maliyetli ve oldukça basit kullanıma sahiptir. Ayrıca su altı fotogrametrisinin veri elde etmesi açısından çok yönlülüğü olması bu sistemin bir avantajıdır.

Sığ koşulların yanı sıra, ışık koşullarının oldukça zayıf hale geldiği yaklaşık 35 m'ye kadar daha derin

alanlarda su altı fotogrametrisi yöntemini kullanmayı güçleştirmiştir. Bu nedenle kameralara yapay ışık yerleştirilmesi ile daha derin alanlarda bu tekniğin kullanılması yararlı olacağı öngörülmektedir.

Derin bölgelerde, kameralarla donatılmış ROV'ların kullanımını fotogrametrik çalışmalarda son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemin avantajı derin alanlara dalmaya gerek kalmadan ölçüm yapma olanağı sağlamaktadır. Ek olarak dalgıçlar yardımıyla yapılan ölçüme göre zamandan da tasarruf sağlamaktadır. Dezavantajı ise; fotoğrafı çekilecek su altı alanının dengesiz topografik yapısı ölçümü güçleştirmektedir.

Su altı çalışma deneyimleri sırasında edinilen önemli tavsiyeler fotoğrafların kalitesiyle ilgilidir. Gölgeler, doğal ışığın değişmesi veya yapay gölgelenme, görüntülerin hizalanmasını tehlikeye atabilir ve bu durum 3D modelde kalıcı gölgelere neden olabilir. Bu nedenle, sığ suda, en iyi hava koşullarında fotogrametrik araştırma yapmayı seçerken, derin suda, görüntülerde herhangi bir gürültü yaratmadan kameraların ISO'sunu arttırmayı seçerek bu sorunlardan kaçınmak öngörülmektedir. Ayrıca çekilen fotoğraflar yazılımlarda işlenmeden önce fotoğraflara renk düzeltilmesi, kontrast, gölgeleri kaldırma ve açık ton azaltma gibi görüntü iyileştirme işlemlerinin uygulanması gerekliliği öngörülmüştür.

Sanal model üretilerek erişilemeyen enkazların, stereoskopik bir görüntüleme sistemi ile keşfetmek ve su altı kültürel miras bilgisini geniş bir kitleye tanıtmak için kullanılabilir.

Yapılan çalışmalarda suyun derinliklerine göre; derin bölgelerde ROV aracını, sığ yerlerde engebeye bağlı olarak ya dalarak ya da ROV aracıyla ölçüm yapabilme seçeneği sunduğu öngörülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma su altı fotogrametrisi hakkında genel bir bilgi vermek ve çalışma yapacak araştırmacılara ön bilgi olması amacıyla yapılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abdelaziz, M., & Elsayed, M. (2019). Underwater Photogrammetry Digital Surface Model (Dsm) Of The Submerged Site of the Ancient Lighthouse Near Qaitbay Fort In Alexandria, Egypt. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Limassol, Cyprus, 2-10.
- Ahmad, Z. B., Jinah, M. I. H. B. M., & Saad, S. B. (2020). Comparison of 3D Coral Photogrammetry and Coral Video Transect for Coral Lifeform Analysis Using Low-cost Underwater Action Camera. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 37(1), 15-20.
- Balletti, C., Beltrame, C., Costa, E., Guerra, F., & Vernier, P. (2016). 3D Reconstruction of Marble Shipwreck Cargoes Based On Underwater Multi-Image Photogrammetry. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3(1), 1-8.

- Balletti, C., Beltrame, C., Costa, E., Guerra, F., & Vernier, P., (2015). Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Marble Cargos Shipwreck. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 7-13.
- Bandini, F., Sunding, T. P., Linde, J., Smith, O., Jensen, I. K., Köppl, C. J., ... & Bauer-Gottwein, P. (2020). Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111487.
- Barrile, V., Fotia, A., Ponterio, R., & Aliotta, F. (2019). Photogrammetric Techniques for The Reconstruction of Underwater 3d Models of Seabed and Artifacts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(10), 25-30.
- Barsanti, S. G., Remondino, F., Fenández-Palacios, B. J., & Visintini, D. (2014). Critical Factors and Guidelines for 3D Surveying and Modelling In Cultural Heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3(1), 141-158.
- Beltrame, C., & Costa, E. (2018). 3D Survey and Modelling of Shipwrecks in Different Underwater Environments. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 82-88.
- Bojakowski, P., Bojakowski, K. C., & Naughton, P. (2015). A Comparison Between Structure from Motion and Direct Survey Methodologies on the Warwick. *Journal of Maritime Archaeology*, 10(2), 159-180.
- Bruno, F., Lagudi, A., Barbieri, L., Cozza, M., Cozza, A., Peluso, R., ... & Skarlatos, D. (2019). Virtual Tour in The Sunken" Villa Con Ingresso A Protiro" Within The Underwater Archaeological Park Of Baiae. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Canciani, M., Gambogi, P., Romano, F. G., Cannata, G., & Drap, P. (2003). Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artifact insertion. The case study of the Dolia wreck in Secche della Meloria-Livorno-Italia. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 5(12), 95-100.
- Canlı, G. A., Kurtoğlu, İ., Canlı, M. O., & Tuna, Ö. S., (2015). Dünyada ve Ülkemizde İnsansız Su altı Araçları (İSAA AUV ve ROV) Tasarım Ve Uygulamaları. *GİDB Dergisi (04)*, 43-75.
- Capra, A., Castagnetti, C., Dubbini, M., Gruen, A., Guo, T., Mancini, F. T., & Troyer, M. (2017). High Accuracy Underwater Photogrammetric Surveying. In *3rd IMEKO International Conference on Metrology for Archeology and Cultural Heritage*, 696-701.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., & Losè, L. T. (2017). The influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI), TUSCANY. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 163.
- Costa E., (2019). The Progress of Survey Techniques in Underwater Sites: The Case Study of Cape Stoba Shipwreck., *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(10), 69-75.
- 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. (2012). Underwater Photogrammetry for Archaeology. *Special Applications of Photogrammetry*, 114.
- 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.
- Drap, P., Seinturier, J., Hijazi, B., & Merad, D., Boi, J. M., Chemisky, B., & Long, L. (2015). The ROV 3D Project: Deep-Sea Underwater Survey Using Photogrammetry: Applications for Underwater Archaeology. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 8(4), 1-24.
- Drap, P., Seinturier, J., Scaradozzi, D., Gambogi, P., Long, L., & Gauch, F. (2007). Photogrammetry for Virtual Exploration of Underwater Archeological Sites. In *Proceedings of the 21st international symposium, CIPA*, 1-6.
- Figueira, W., Ferrari, R., Weatherby, E., Porter, A., Hawes, S., & Byrne, M. (2015). Accuracy and precision of habitat structural complexity metrics derived from underwater photogrammetry. *Remote Sensing*, 7(12), 16883-16900.
- Gruen, A., Kocaman, S., Guo, T., Ural, S., & Troyer, M. (2017). DSM/DTM-Related Investigations of The Moorea Avatar Project. In *38th Asian Conference On Remote Sensing*, 23-27.
- 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.
- 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.
- Henderson, J., Pizarro, O., Johnson-Roberson, M., & Mahon, I. (2013). Mapping Submerged Archaeological Sites Using Stereo-Vision Photogrammetry. *International Journal of Nautical Archaeology*, 42(2), 243-256.
- Kaya, F. Z., Akçay, Ö., Avşar, E. Ö., & Aydar, U. (2019). Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar.
- Kocaman, S., Guo, T., Gruen, A., & Troyer, M. (2017). Ada Dijital Ekosistem Avatari (İdea) Projesi.

- Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 183-189.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar.
- Köseoğlu, F., & Kocaman, S. (2018). Mercan Resiflerinin Su altı Fotogrametrisi İle 3 Boyutlu Modellenmesi.
- Kwon, Y. H., & Casebolt, J. B. (2006). Effects of light refraction on the accuracy of camera calibration and reconstruction in underwater motion analysis. *Sports biomechanics*, 5(2), 315-340.
- Lallensack, J. N., Buchwitz, M., & Romilio, A. (2020). Photogrammetry in ichnology: 3D model generation, visualisation, and data extraction.
- Lavest, J. M., Rives, G., & Lapresté, J. T. (2003). Dry Camera Calibration for Underwater Applications. *Machine Vision and Applications*, 13(5-6), 245-253.
- Liarokapis, F., Kouřil, P., Agrafiotis, P., Demesticha, S., Chmelik, J., & Skarlatos, D. (2017). 3D Modelling and Mapping for Virtual Exploration of Underwater Archaeology Assets. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 425.
- Marre, G., Holon, F., Luque, S., Boissery, P., & Deter, J. (2019). Monitoring marine habitats with photogrammetry: a cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method. *Frontiers in Marine Science*, 6, 276.
- 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.
- Özdemir, C. (2020). Radar Cross Section Analysis Of Unmanned Aerial Vehicles Using Predics. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5 (3) , 144-149.
- Quattrini, R., Pierdicca, R., Frontoni, E., & Barcaglioni, R. (2016). Virtual Reconstruction of Lost Architectures: From The TLS Survey to AR Visualization. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41, 383-390.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric Modelling Of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) Using An Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1) , 6-11.
- Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6 (2) , 81-89.
- Su altı Federasyonu, (2020). <https://tssf.gov.tr/> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Su altı Kültürel Mirası İzleme Grubu, (2020). UNESCO Türkiye Millî Komisyonu, <http://www.unesco.org.tr/Pages/57/20/Suالت%4%B1-K%3%BClt%3%BCrel-Miras%4%B1-%4%B0zleme-Grubu> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- T.C. Cumhurbaşkanlığı, Mevzuat Bilgi Sistemi, (2020). Kültür Ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2863.pdf> (madde 3, a bendi)[Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Taşdemir, S., & Özkan, İ. (2019). Ann Approach For Estimation Of Cow Weight Depending On Photogrammetric Body Dimensions. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4 (1) , 36-44.
- Telem, G., & Filin, S. (2010). Photogrammetric modeling of underwater environments. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(5), 433-444.
- Treibitz, T., Schechner, Y., Kunz, C., & Singh, H. (2011). Flat refractive geometry. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 34(1), 51-65.
- Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi, (2020). <https://nsidc.org/> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Ulvi, A. (2018). Analysis Of The Utility Of The Unmanned Aerial Vehicle(UAV) in Volume Calculation By Using Photogrammetric Techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2) , 43-49.
- 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.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5 (1), 22-30.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques İn Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Ünal, 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*, 1103-1108.
- Van Damme, T. (2015). Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording in A Low-Visibility Environment. *International Archives of*

the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 231-238.

- Yakar, İ., Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G., & Bilgi, S. (2020). Kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında farklı yazılımların karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. *Geomatik*, 6(3), 217-226.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıç, K., Kaya, Y., & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi

Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.

- Yiğit A Y, Kaya Y & Kabadayı A (2020). Comparison of Documenting Cultural Artifacts with the 3D Model in Different Software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 51-58.
- Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A., & Bilgilioğlu, S. S. (2018). İnsansız Hava Aracı İle Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği. *Journal of Geomatics*, 3(2), 103-110.



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>