

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
AKDENİZ UYGARLIKLARI ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ

**SUALTI KÜLTÜR MİRASI'NIN BELGELENMESİNDE GÜNCEL
FOTOGRAMETRİ YÖNTEMLERİ**

Metehan Samet GÜL

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hakan ÖNİZ

Akdeniz Sualtı Kültür Mirası Araştırmaları Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2021

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
AKDENİZ UYGARLIKLARI ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ

**SUALTI KÜLTÜR MİRASI'NIN BELGELENMESİNDE GÜNCEL
FOTOGRAMETRİ YÖNTEMLERİ**

Metehan Samet GÜL

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hakan ÖNİZ

Akdeniz Sualtı Kültür Mirası Araştırmaları Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2021



AKADEMİK BEYAN

T.C

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

AKDENİZ UYGARLIKLARI ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ;

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sualtı Kültür Mirası'nın Belgelenmesinde Güncel Fotogrametri Yöntemleri” adlı bu çalışmanın, akademik kural ve etik değerlere uygun bir biçimde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım bütün eserlerin kaynakçada gösterildiğini ve çalışma içerisinde bu eserlere atıf yapıldığını beyan ederim.

(İmza)
Öğrenci Adı, Soyadı

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
FIGÜRLER LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
ÖNSÖZ	xi
GİRİŞ.....	1
Çalışmanın Amacı	4
Çalışmanın Kapsamı	4
Materyal ve Yöntem	4

BİRİNCİ BÖLÜM

FOTOGRAMETRİ

1.1. Fotogrametri Nedir?	6
1.2. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi	8
1.3. Değerlendirme Yöntemine Göre Fotogrametri.....	11
1.3.1. Grafik (Plançete) Fotogrametri	11
1.3.2. Analog Fotogrametri.....	13
1.3.3. Analitik Fotogrametri.....	14
1.3.4. Dijital (Sayısal) Fotogrametri	15

İKİNCİ BÖLÜM

SU ALTINDA FOTOGRAMETRİ

2.1. Sualtı Fotogrametrisi	16
2.2. Su altında Fotogrametriyi Etkileyen Faktörler	20
2.2.1. Işığın Kırılması.....	21
2.2.2. Işığın Emilimi/Soğurulması.....	22

2.2.3. Sınırlı Görüş	23
2.2.4. Diğer Faktörler	23

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

METOTLAR, YAZILIM ve VERİ İŞLEME

3.1. Sualtı Fotogrametrisinde Kullanılan Metotlar	24
3.1.1. DSM (Direct Survey Method) – Trilaterasyon	27
3.1.2. Eşel (Scale Bar)	28
3.1.3. Enclosure	30
3.1.4. Tri-Clousure	30
3.1.5. Total Station	32
3.1.6. Sualtı Araçları (ROV-AUV)	32
3.1.7. Diğer Yöntemler: Lazer Ölçekleyici, Lazer Tarayıcı ve LiDAR	35
3.2. Fotogrametri’de Kullanılan Yazılımlar ve Veri İşleme.....	38
3.2.1. Agisoft Metashape.....	39
3.2.1.1. Align Photos (Fotoğraf Hizalama)	39
3.2.1.2. Build Dense Cloud (Nokta Bulutu Oluşturma)	43
3.2.1.3. Build Mesh (Mesh Oluşturma).....	44
3.2.1.4. Build Texture (Doku Oluşturma)	45
3.2.1.5. Build Orthophotos (Ortofoto Oluşturma).....	46
3.2.1.6. Build DEM (Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma)	47
3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri CBS (GIS)	48
3.2.3. Video Fotogrametri/Videogrametri	50
3.3. Saha Çalışmaları	51
3.3.1. Kaş Fener Batığı Örneği	52
3.3.2. Osmanlı Dönemi Batığı Örneği	73
3.3.3. Şıldanlar Lahit Batığı Örneği.....	78
SONUÇ	83



FIGÜRLER LİSTESİ

Figür 1: 1839 yılında Niépce tarafından çekilen ilk fotoğraf (Kork, 2006: 7, Resim 2).

Figür 2: Nadar'ın balondan çektiği hava fotoğrafı (Kork, 2006: 7, Resim 3).

Figür 3: Plançete (Grafik) Fotogrametrisi Düzenegİ. (Sholarin ve Awange, 2015: 214 Fig. 10.1).

Figür 4: Nadar bir balondan fotoğraf çekiyor. (Burtch, 2008: 6, Figure 10).

Figür 5: Analog Stereo Değerlendirme Aleti. Kaynak: (faireysurveys.co.uk).

Figür 6: Analitik Stereo Değerlendirme Aleti. Kaynak: (aerialservicesinc.com).

Figür 7: Dijital Fotogrametri cihazları. Kaynak: (veoptics.com).

Figür 8: Işığın kırılmasını gösteren “Broken Pencil” deneyi. Kaynak: (ingeniumcanada.org).

Figür 9: Farklı derinliklere göre renklerin kaybolması, ışığın emilimi (Van Damme, 2015: 19).

Figür 10: Scale Bar metodu örneğİ (Yamafune, 2017a: 10, Fig. 2).

Figür 11: Flight Path (Yamafune, 2017a: 16, Fig. 4).

Figür 12: Pisagor Teoremi ve Tri-Closure (Yamafune vd., 2017b: 16).

Figür 13: Tri-Closure Yöntemi (Yamafune vd., 2017b: 16).

Figür 14: Temel adımlar, İş Akışı.

Figür 15: Kamera Kalibrasyonu penceresi.

Figür 16: Satranç tahtasını açabilmek için ilgili menü yolu.

Figür 17: Kalibrasyon işlemi için satranç tahtasının görünümü.

Figür 18: Align photos için seçenekler penceresi.

Figür 19: Build Dense Cloud için seçenekler penceresi.

Figür 20: Build Mesh için seçenekler penceresi.

Figür 21: Build Texture için seçenekler penceresi.

Figür 22: 3B modelleme ve Rekonstrüksiyon için iş akışı.

Figür 23: 3B modelleme ve Rekonstrüksiyon'un ölçeklemesi için iş akışı.

Figür 24: Coğrafi Referanslama için önerilen iş akışı (Yamafune, 2017c: 19-22).

Figür 25: Batığın muhtemel pozisyonu.

Figür 26: Çapanın üç boyutlu (3B) modellemesi

Figür 27: Batık alanından 1. görüntü.

Figür 28: Batık alanından 2. görüntü.

Figür 29: Batık alanından 3. görüntü, Ganos (Günsenin) Tip 1.

Figür 30: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneğİ, Antalya Arkeoloji Müzesi (Öniz, 2018: 146).

Figür 31: Phaselis – Ganos (Günsenin) Tip 1 örneğİ (Aslan ve Orhan, 2019: 94, Fig. 8).

Figür 32: Kekova – Ganos (Günsenin) Tip 1 örneğİ (Aslan ve Orhan, 2018: 105, Fig. 7a).

- Figür 33:** Serçe Limanı Örnekleri (Bass vd.,2004: 268, fig. 15-3).
- Figür 34:** Kadıkalesi/Anaia örnekleri (Mimaroglu, 2013: 225).
- Figür 35:** Ayasuluk Tepesi Örnekleri (Mimaroglu,2014: 460, Kat. No: 1).
- Figür 36:** Cape Stoba (Kralj vd., 2016:46, Figure 6).
- Figür 37:** 3B Rekonstrüksiyon ile elde edilen ortofoto görüntüsü.
- Figür 38:** CorelDraw yazılımı ile ortofoto üzerinden eserin çizim ve ölçümü.
- Figür 39:** Metashape yazılımı üzerinde eserin ölçümü.
- Figür 40:** Kontrol noktalarının Metashape yazılımında işaretleyiciler (marker) ile gösterilmesi.
- Figür 41:** Referans noktaları ve sanal eşel oluşturmak için kullanılan işaretleyiciler.
- Figür 42:** Kontrol, Referans noktaları ve sanal eşel oluşturmak için işaretleyiciler (marker) kullanarak belirtme.
- Figür 43:** Align Photos aşaması.
- Figür 44:** Align Photos işlemi ardından görülen kameraların 1. açısı.
- Figür 45:** Align Photos işlemi ardından görülen kameraların 2. açısı.
- Figür 46:** Align Photos işleminden sonra hata oranı/durumu.
- Figür 47:** Kamera optimizasyonu ile düşen hata oranı/durumu.
- Figür 48:** Build Dense Cloud aşaması ile elde edilen nokta bulutu.
- Figür 49:** Build Mesh işleminin başlatılmasıyla nokta bulutundan mesh oluşturma seçenek ekranı.
- Figür 50:** Gerçek dünya dokusu eklemek için ilgili menüden Build Texture komutu kullanımı.
- Figür 51:** Coğrafi Referanslama için alınan uzunlukların CAD yazılımında işlenmesi.
- Figür 52, 53, 54:** Alınmış ölçülerin CAD (Rhinoceros 3D) yazılımı aracılığıyla işlenmesi.
- Figür 55:** Yazılım (Metashape) içerisindeki kontrol noktalarının dijital gösterimi.
- Figür 56:** Batık alanı ortofoto - 1. Görünüm.
- Figür 57:** Alanın ortofotosu, 2. Görünüm, Sony Kamera.
- Figür 58:** 3B model Rekonstrüksiyonu -Metashape içerisinde 1. görüntü, Sony Kamera.
- Figür 59:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 2. görüntü, Sony Kamera.
- Figür 60:** Sony Fotoğraf Makinesinden elde edilen ortofoto.
- Figür 61:** GoPro Aksiyon Fotoğraf Makinesinden elde edilen ortofoto.
- Figür 62, 63:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape, GoPro.
- Figür 64:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 1. görüntü, GoPro.
- Figür 65:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 2. görüntü, GoPro.
- Figür 66:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde detay - GoPro.
- Figür 67:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 3. görüntü, GoPro.

- Figür 68:** 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 4. görüntü, GoPro.
- Figür 69:** 3H Site recorder ile alanın haritalandırılması.
- Figür 70:** Alandaki eserlerin ortofoto üzerinden çizimi.
- Figür 71:** Çizimden detay.
- Figür 72:** İki tırnaklı çapa.
- Figür 73:** Osmanlı Topları.
- Figür 74:** Demir parçaların bulunduğu bölümden bir kare.
- Figür 75:** Demir parçaların bulunduğu bir başka bölümden fotoğraf karesi.
- Figür 76:** Batık Alanı ortofoto.
- Figür 77:** Batık alanının rekonstrüksiyonu/modellemesi.
- Figür 78:** Batık alanının rekonstrüksiyon/modellemeden 1. görüntü.
- Figür 79:** Batık alanının rekonstrüksiyon/modellemeden 2. görüntü.
- Figür 80a, 80b:** 2012 yılında yayınlanmış makaleden bir görsel (Özdaş vd. 2012: 122, Res. 6) ve Alandan ROV üzerine monte edilmiş GoPro ile çekilmiş bir görüntü.
- Figür 81a, b:** Görüntüleme için kullanılan ROV ve üzerine yerleştirilmiş GoPro aksiyon kamerası.
- Figür 82:** Kurulan sistem ve bağlantıları.
- Figür 83:** Görüntüleme için ROV'un kumanda edildiği zamandan bir kare.
- Figür 84:** Camera Raw Filter ile Highlights, Shadows, Whites, Blacks, Clarity ve Dehaze değerlerin düzenlenmesi.
- Figür 85:** Alanın ortofotosu.
- Figür 86:** GoPro'dan elde edilen görüntülerden oluşturulan ortofoto görüntüsü.
- Figür 87:** GoPro'dan elde edilen görüntülerden oluşturulan üç boyutlu (3B) model rekonstrüksiyonu.

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Sualtında verilerin elde edilebilmesi için kullanılabilecek yöntemler ile cihazların, güçlü ve zayıf kaldığı yanları gösteren tablo (Kaya vd., 2019: 6, Tablo1; Massot-Campos vd., 2015: 31548, Table 9).

KISALTMALAR LİSTESİ

- 2B: 2 Boyutlu, X ve Y'den oluşan 2 boyutlu uzay (2D – 2 Dimension)
- 3B: 3 Boyutlu, X, Y ve Z boyutlarından oluşan uzay (3D – 3 Dimension)
- AR: Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)
- ARROWS: Archaeological Robot systems for the World's Seas
- AUV: Otonom Su Altı Aracı (Autonomous Underwater Vehicle)
- Bkz.: Bakınız
- CAD: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
- CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri
- CNN: Convolution Neural Network
- DEM: Digital Elevation Model
- DLSR: Sayısal (Dijital) Tek Mercek Yansımali kameralar (Digital Single Lens Reflex cameras)
- DP: Dinamik Konumlandırma (Dynamic Positioning System)
- DSM: Sayısal Yüzey Modelleri (Digital Surface Models)
- DTM: Sayısal Arazi Modelleri (Digital Terrain Models)
- EXIF: Değişebilir Görüntü Dosyası Biçimi (Exchangeable Image File)
- GCP: Yer kontrol noktaları (Ground Control Points)
- GIS: Geographic Information Systems
- IMU: İnertsiyal Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit)
- ISPRS: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)
- İSAA: İnsansız Su Altı Araçları
- LBL: Uzun Anahat (Long Baseline)
- LiDAR: Light Detection and Ranging/Laser Imaging Detection and Ranging
- NPR: Non-photorealistic Rendering
- ROV: Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı (Remotely Operated Vehicle)
- SBL: Kısa Anahat (Short Baseline System)
- SfM: Structure from Motion
- SYM: Sayısal Yükseklik Modeli
- TIN: Düzensiz Üçgen Ağları (Triangular Irregular Networks)
- USBL: Ultra Kısa Anahat (Ultra Short Baseline)
- UUV: Unmanned Underwater Vehicle
- vb.: ve benzeri
- vd.: ve diğerleri

VENUS: Virtual Exploration of Underwater Sites

VR: Sanal Gerçeklik (Virtual Reality)



ÖZET

Sualtı kültür mirasını arkeolojik, tarihi ve kültürel varlıklar oluşturmaktadır. Su altında kalan bu varlıkların muhafaza edilmesi toprak altında kalan eserlere oranla daha zor ve hassastır. Özellikle arkeolojik nitelikteki varlıklar içerdiği bilgi ile birlikte çok kolay bir şekilde yok olabilmektedir. Bu yüzden bilgilerin elde edilmesi, yönetilmesi ve gelecek nesillere aktarılması için görüntüleme ve belgeleme çalışmaları oldukça önemlidir. Bu çalışma birçok alanda (arkeoloji, mimari, restorasyon, vb.) kullanımı tercih edilen Fotogrametri'nin Sualtı Kültür Mirası'nda kullanımını ve güncel yöntemlerle birlikte nasıl ana belgeleme yöntemi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma ile hedeflenen günümüzde Türk Sualtı Kültür Mirası Literatüründe eksikliği görülen Sualtı Fotogrametrisi'nin potansiyelini göstermek ve kullanılan belgeleme yöntemlerini kazandırmaktır. Bu yöntemler ile elde edilen veriler 1:1 ölçekli ve coğrafi referanslı olmasının yanı sıra üç boyutlu (3B) modellemeler ve rekonstrüksiyonlar farklı yazılımlara aktararak sanal müzeler ve sergiler ile koruma ve yönetim planlarının oluşturulmasında kullanılabilmektedir. Dijitalleşen dünyamızda bu yöntemlerle çağa ayak uydurmak teknoloji ile iç içe olan Sualtı Kültür Mirası ve su altı disiplinlerinde oldukça önemli ve gereklidir.

Çalışmanın Birinci Bölümünde Fotogrametri'nin tanımı, tarihsel gelişimi ve değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır. İkinci bölümde; Sualtı Fotogrametrisi ve su altında Fotogrametri'yi etkileyen faktörler hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise kullanılan metotlar, yazılım ve veri işleme aşamaları açıklanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Videogrametri'ye de kısaca değinilmiştir. Tezin Saha Çalışmaları bölümünde, örnekler üzerinde Direct Survey Method (DSM), eşellerle birlikte kullanılmıştır. Bu yöntem Kaş İnce Burun Fener Bölgesi, Kekova Karaada ve Gelidonya Fener Bölgesi'nde uygulanarak test edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotogrametri, Sayısal Fotogrametri, Sualtı Kültür Mirası, Sualtı Fotogrametrisi, Sualtı Arkeolojisi, Batıklar

ABSTRACT

Archaeological, historical, and cultural assets have constituted the underwater cultural heritage. Preserving these underwater assets is more difficult and sensitive than the underground artifacts. Especially archaeological assets can easily disappear with the information they contain. Therefore, imaging and documentation studies are very important for obtaining, managing and transferring information to future generations. In this study, Photogrammetry, which is preferred to be used in many fields (archeology, architecture, restoration, etc.), reveals how it is the main documentation method with its use in Underwater Cultural Heritage and current methods. This study aims to show the potential of Underwater Photogrammetry; which is currently lacking in the Turkish Underwater Cultural Heritage Literature, and to provide the documentation methods used. In addition to being 1:1 scaled and geographically referenced, the data obtained with these methods can be used in the creation of virtual museums and exhibitions as well as conservation and management plans by transferring three-dimensional (3D) models and reconstructions to different software. In our digitalizing world, keeping up with the times with these methods is very important and necessary in Underwater Cultural Heritage and underwater disciplines that are intertwined with technology.

The first section of the thesis describes the definition, historical development and evaluation methods of Photogrammetry. In the second section of the thesis, the Underwater Photogrammetry and the factors affecting Photogrammetry under the water is explained. The third section describes the methods used, softwares, and data processing phases. GIS and Videogrammetry were also briefly has been mentioned. In the Field Studies section of the thesis, the samples were tested using the Direct Survey Method (DSM) together with the scale bars. This method has been tested by applying in Kaş İnce Burun Fener Region, Kekova Karaada and Gelidonya Fener Region.

Keywords: Photogrammetry, Digital Photogrammetry, Underwater Cultural Heritage, Underwater Photogrammetry, Underwater Archaeology, Shipwrecks

ÖNSÖZ

Sualtı Kültür Mirası'nın belgelenmesinde güncel yöntemlerle birlikte kullanımı en çok tercih edilen yöntem Fotogrametri'dir. Giderek dijitalleşen dünyamızda teknolojinin bize sağladığı faydalardan yararlanarak yeni yöntemler kullanılmalı ve geliştirilmelidir. Bu tez çalışmasında güncel yöntemler ve bu yöntemlerden biri olan Direct Survey Method (DSM) kullanılmıştır. Bu çalışma içerisindeki cihaz ve yöntemler, Türkiye'nin Sualtı Kültür Mirası Literatürüne katkıda bulunması için aktarılmıştır.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, maddi ve manevi yardımını esirgemeyen, çalışma verilerini ve ekipmanları sağlayan, Sayın Danışmanım Doç. Dr. Hakan Öniz'e saygılarımı sunar ve teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için paylaştığı veriler oldukça değerlidir. Ayrıca çalışma ve ekip arkadaşlarıma, başta sayın Ceyda Öztosun, Günay Dönmez, Ercan Soydan, Elif Nur Anbarkaya ve Ayşenur Toksöz'e yardımları için teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışması boyunca her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli aileme ve değerli yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.

GİRİŞ

Her arkeolojik kazı arkeolojik objeler üzerinde bir risk oluşturur. Bu yüzden arkeolojik araştırma/çalışmalarda belgeleme oldukça önemlidir. Teknoloji arkeoloji alanına olduğu gibi birçok alana da yenilikler getirmektedir. Arkeoloji, sualtı arkeolojisi, denizcilik arkeolojisi gibi birçok disiplin ve meslek gruplarına; mimari, restorasyon, jeodezi, gibi bilimsel alanlara entegre edilmiştir. Bu disiplin ve meslek gruplarında kullanılan ve yararlanılan Fotogrametri, hızlı ve kullanımı artan uygulamaları ile Sualtı Kültür Mirası'nın görüntülenmesinde ve belgelenmesinde ana metot olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yirmi yıldır, özellikle teknolojinin gelişmesine bağlı olarak Sualtı Kültür Mirası'nın belgelenmesinde hızlı bir şekilde gelişme yaşanmıştır. Pek çok farklı perspektif ve yaklaşımlar, stratejilerin geliştirilmesi ve belgeleme çalışmaları için kullanılmıştır. Görüntüleme ve belgelenme işlemleri günümüzde önemli bir duruma gelen bu çalışma alanı için, “Sualtı Kültür Mirası nedir?” sorusu incelendiğinde şu cevap ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde belgelenmesi ve korunması önemli bir hâl alan, Sualtı Kültür Mirası; UNESCO'nun 2001 yılında kabul edilen ve uygulanmaya başlanan “Sualtı Kültür Mirası'nın Korunması Sözleşmesi'nde tanımı şu şekilde yer almaktadır: “*Sualtı kültürel mirası, kısmen veya tamamen su altında, periyodik veya sürekli, en az 100 yıldır kültürel, tarihi veya arkeolojik bir karaktere sahip insan varlığının tüm izlerini ifade eder.*”¹ (UNESCO, 2002: 51).

Bu tanımdan hareketle su altında, insan elinden çıkmış materyallerin/nesnelerin, en az 100 yıllık ve karakteristik özelliklere sahip olan her ögenin sualtı kültür mirası olarak kabul edileceğidir. Sualtında yer alan batık yerleşim ve kıyı yapıları, limanlar ve mağaralar, gemi batıkları, sikkeler, amphoralar, çapalar gibi birçok öge kültür mirasını oluşturmaktadır (UNESCO, 2002: 51; Öniz, 2018: 38-66). Kültür mirasını oluşturan bu varlıkların korunması oldukça zor ve bir o kadar da önemlidir. Gelecek nesillere sahip olunan bu bilgi birikimini eserler aracılığı ile aktarabilmek, çeşitli tehlikelere karşı muhafaza etmek ve yönetimini sağlamak bir sorumluluktur. Bahsi geçen bu tehlikeler: define avcılığı faaliyetleri (Aragon vd., 2017: 258), turistik veya sportif dalışlar sonucu oluşan yağmalama-hatıra eşya alma, deniz tabanından kaynak çıkarma, petrol ve gaz gibi kaynakların taşınması, trol ağları ile balıkçılık gibi konulardır² (Şahin, 2018: 66-67).

¹ UNESCO. (2020). Underwater Cultural Heritage, 2001 Convention. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/underwater-cultural-heritage/definition-of-underwater-cultural-heritage/> (erişim tarihi: 08.08.2020).

² UNESCO. (2020). About the Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/2001-convention/> (erişim tarihi: 08.08.2020).

Arkeolojik varlıklar yenilenebilen varlıklar değildir. Özellikle su altında kalan keşfedilmemiş bu varlıklar birçok doğal ya da insan eliyle oluşan etkenlerden dolayı oldukça hassastır ve kolay bir şekilde yok olabilecek durumdadır. Yapılabilecek herhangi yanlış müdahale kültür varlıklarının yok olmasına veya zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca taşıdığı olası bilgilerin de yok olmasına neden olmaktadır. Arkeolojik kazı ve araştırmalar tahrip edici özelliğe sahiptir. Bu nedenle arkeolojik objelerin/veya kültürel miras öğelerinin belgeleme çalışmaları kazı veya araştırma süresince detaylı bir şekilde belgelenmelidir (Drap, 2012: 111). Özellikle, Arkeolojinin her bir farklı ana veya alt disiplinde düzgün bir belgeleme yapmak her zaman gerekli olmuştur. Bu noktada ışık, deniz akıntısı, dalgalar vb. birçok etkenin bulunduğu su altı ile ilgili disiplinlerde görüntüleme ve belgeleme yöntemleri önem kazanmaktadır. Arkeolojik varlıklar, özellikle açık denizlerde oksijenin az olduğu, karanlık ve düşük sıcaklığa sahip olan derin sularda korunmuş durumdadır (Drap, 2012: 112). Beraberinde çeşitli bilgileri (tarihi, kime ait olduğunu veya üretim yerlerini gösteren mühürler, vb.) barındıran bu arkeolojik alanlar ve batıklar, arkeologlar için bulunmaz bir fırsatı ortaya konmaktadır (Kaya vd., 2019: 2). Çünkü ortaya birçok yeni bilgiyi ortaya çıkarma potansiyeli bulunmaktadır. Birçok metodun ve bilgisayar destekli yazılımların (CAD) yardımıyla, teknolojinin bu alanda kullanılması oldukça önemli ve gerekli bir hal almıştır. Teknolojiden sadece belgeleme çalışmalarında değil, belgelemeden sonra verilerin saklanması, işlenmesi ve kültürel mirasın korunup, sergilenebilmesi açısından da büyük ölçüde yararlanılmaktadır. Bu teknolojik gelişmelerin sağladığı katkıyla birlikte sahip olunan imkânların artması, zamandan ve iş gücünden tasarrufun yanı sıra ekonomik açıdan da uygun hale gelerek, yapılabilecek çalışmaların ve yeni olasılıkların önünü açmıştır.

Teknolojinin entegre olduğu bu metotlarla gelecek nesillere sahip olduğumuz kültür ve kültür varlıklarını, 3B modellemelerle birlikte aktarımı sağlanabilmektedir. Ayrıca verileri elde etme ve edinilen bu verilerin işlenmesi, korunması, belgelenmesi ve yönetimi de teknolojinin gelişimi ile kolaylaşmıştır. Sadece belgeleme çalışmaları ile sanal müze veya sergi gibi birçok olasılığında önü açılmaktadır. Bu noktada fotogrametri, Sualtı Kültür Mirası'nın korunması, belgelenmesi ve bunların gelecek nesillere aktarılıp, bir bilinç kazandırılmasında önemli bir araçtır. Üstelik geleceğe aktarmayı başaramadığımız arkeolojik varlıkların (gemi batıkları, çapalar, seramikler, vb.) teknolojinin yardımıyla 1:1 ölçekli, coğrafi referanslı (koordinatlı) bir şekilde, in-situ olarak aktarmamızı sağlayacaktır. Bu yüzden bu alanda yapılacak her çalışma, gelişen teknolojilerin takibini ve uygulanmasını da içermektedir. Bu belgeleme çalışmalarında kullanılan sualtı kameraları, Uzaktan Kumandalı Sualtı Aracı (R.O.V- Remotely Operated Vehicle), Otonom Sualtı Aracı (AUV- Autonomous Underwater Vehicle), Sonar sistemleri

(Multibeam Sonar, Yan taramalı Sonar, vb.), Lazer sistemleri (Lazer tarayıcılar, sensörler, LiDAR.) gibi birçok teknolojik cihaz ve bilgisayar yazılımlarından (özellikle CAD) yararlanılmaktadır. Sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri fotogrametrik araştırmalarda elde edilen veriler hakkında yeni bilgilere ulaşılmasını kolaylaştırabilmekte ve bu sayede veri elde etmede yenilikçi yollar sunabilmektedir (Balleti vd., 2015: 12). Ayrıca sanal gerçeklik (VR) kullanan kültürel mirasın dijital ürünlerini tanımlamak için “Sanal Miras” (Virtual Heritage) terimi Tousant ve Fai (2019) tarafından önerilmektedir (Tousant ve Fai, 2019: 1164). Oluşturulan bu sanal mirasa ziyaretçiler ulaşılabilir. Bu noktada sanal sualtı alanları ile oluşturulacak müzeler ve sergiler sayesinde su altındaki ulaşılması zor arkeolojik alanların bilim dünyası ve toplumun geneli tarafından ulaşılabilir olmasını kolaylaştıracaktır (Drap vd., 2008: 485). Üç boyutlu modellemeler ile bilimsel araştırmalar, müze sergileri, dijital in-situ olarak korunması, CBS uygulamaları, dijital analizler vb. yapılabilmektedir. Bu yüzden yapılacak olan üç boyutlu modellemelerin geniş ve kapsamlı olması her geçen gün önem kazanmaktadır (Drap, 2012: 213). Sadece cihazlarda değil bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarında da gelişmeler yaşanmaktadır. Özellikle kullanılacak yazılımın tercihinde ara yüzünün kullanıcı dostu olması bir etki yaratmaktadır. Bu yazılımlar çeşitli özelliklere sahiptir. Bazıları açık kaynaklı olup ücretsizken bazıları ise ücretlidir. Bu yazılımlar kullanıcının tercihinine göre değişmektedir.

Fotogrametri de her alanda olduğu gibi kendine özgü zorlukları da barındırmaktadır. Özellikle Sualtı Fotogrametrisi’nde batık koşullarından dolayı; ışık (en önemli etken), görüş mesafesi, derinlik, arazi topoğrafyası, akıntı gibi farklı faktörler rol oynar. Bu faktörlerin oluşturduğu sorunlar farklı çözüm yolları gerektirmektedir. (Yamafune, 2017a: 517-518). Bu çalışmada öncelikle fotogrametrinin tanımından ve bu metodun nasıl geliştiğinden, sualtında hangi yöntemleri kullandığından ve nasıl yapıldığından bahsedilecektir. Ayrıca her bölgede farklı etkenlerin neden olabileceği sorunlar yüzünden yapılacak olan Fotogrametri çalışmalarına farklı ve özgün metodolojiler geliştirmek gerekli olabilmektedir.

Bu tez içerisinde yer alan 1. Bölümde Fotogrametri terimini, tarihsel süreç içerisindeki gelişimini ve türleri konusu aktarılacaktır. 2. Bölümde Sualtı Fotogrametrisi Nedir? sorusuna cevap ararken Fotogrametriyi etkileyen faktörlerle birlikte açıklanacaktır. 3. Bölümde ise güncel Fotogrametri metotları, yazılımlar, verileri işleme, Videogrametri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) konularına kısaca değinilecektir. Son olarak Saha Çalışmaları adlı bölümde test edilen metotlar ve belgeleme süreci gözler önüne serilerek Sonuç Bölümünde açıklanacaktır.

Çalışmanın Amacı

Yapılacak olan bu çalışmada amaç Türkiye'nin sahip olduğu Sualtı Kültür Mirası kapsamında Akdeniz'de (Antalya) yer alan arkeolojik alanlar, batıklar ve diğer arkeolojik buluntuların, günümüzde kullanılan teknolojik cihazlar, aletler ve bilgisayar destekli yazılımlar aracılığıyla, Fotogrametri yöntemleri kullanılarak görüntüleme, üç boyutlu (3B) modelleme ve alan rekonstrüksiyonu oluşturarak belgelemektir.

Bu tez kapsamında uzaktan kumandalı sualtı araçları (ROV), çeşitli sualtı kameraları kullanılarak Agisoft Metashape, Adobe Premiere, Photoshop, Corel Draw gibi yazılımlar ile birlikte Fotogrametri yöntemleri ve yöntemlerden elde edilecek verilerle üç boyutlu (3B-3D) dijital rekonstrüksiyon ve modellemelerin değerlendirilmesi konusunda, yapılan araştırmalar ve literatür taramaları sonucunda, daha önce ülkemizde Sualtı Kültür Mirası'nın Belgelenmesinde Fotogrametri kullanımı konusu üzerine bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir.

Bu belgeleme çalışmalarında çizimler, fotoğraflar ve videolardan; haritalar, 3B modellemeler, rekonstrüksiyonlar ve ortofotolar, gibi ürün ve sonuçlar elde edilmektedir. Üretilen 3B modeller ve rekonstrüksiyonlar, VR-AR gibi sanal gerçeklik uygulamalarında kullanılması ile çağa uygun yeni sergileme yöntemleri için gereklidir Ayrıca bu veriler ve ürünler CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) temelli veri tabanlarında da kullanılabilir. Bu bağlamda, tez içerisinde yer alan bilgiler ile gelecekte konu hakkında araştırma yapabilecek kişilere yardımcı olabilmesi amaçlanmakla birlikte uygulanabilecek ve geliştirilebilecek yöntemler hakkında bilgi vermeyi sağlamaktır. Bu çalışma ile günümüzde eksikliği görülen Sualtı Fotogrametri'sinin, Sualtı Kültür Mirası Literatürüne katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışması içerisinde, Sualtı Kültür Mirası kapsamında Türkiye'nin Akdeniz kıyıları içerisinde Antalya bölgesinde yer alan batık alanları ve arkeolojik buluntuları kapsamaktadır. Sualtı Fotogrametrisinin uygulandığı, Saha Çalışmaları bölümünde detaylı bilgi verilecek olan bu alanlar; Kaş İnce Burun Fener Bölgesi, Kekova Karaada ve Gelidonya Fener Bölgesi'ni kapsamaktadır.

Materyal ve Yöntem

Yapılacak olan bu çalışmada öncelikle kütüphaneler ve çevrimiçi kütüphanelerde ayrıntılı bir şekilde literatür taraması yapılması hedeflenmiştir. Literatür taraması

gerçekleştirildikten sonra Fotogrametri alanında uygulanan güncel metotlar, bilgisayar destekli yazılımlar (CAD), dijital üç boyutlu (3B) modelleme ve alan rekonstrüksiyon işlemi için verilerin nasıl işlendiği tespit edilmiştir. Ardından arkeolojik varlıkların tespit edildiği bölgelerde Fotogrametri için Direct Survey Method (DSM) kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalar ve kaynak taramaları sonucunda en çok tercih edilen yöntemi (DSM) saha çalışmaları kısmında gerçekleştirilmiştir. Direct Survey Method (DSM) ile in-situ bir şekilde arkeolojik varlık veya alanların modellemeleri yapılabilmektedir.

Bu tez içerisinde Saha Çalışmaları bölümünde yer alan çalışmalarda, DSM tercih edilmiştir. DSM ve eşeller birlikte kullanılarak yerel koordinat ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yerel koordinat ağından dalgıçlar aracılığıyla ölçümler ve fotoğraf makinelerinin kullanılması ile görüntü verileri elde edilmiştir. Ardından elde edilen bu veriler ilgili yazılımda (Metashape) işlenmiş, 3B model ve alan rekonstrüksiyonu elde edilmiştir. Alana yerleştirilen eşeller ile ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Coğrafi referanslama işlemi için bir başka CAD yazılımı olan Rhinoceros 3D'den faydalanılmış ve coğrafik referanslama işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle coğrafi referanslı 1:1 ölçekli modeller elde edilmiştir. Ayrıca ROV (Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı-Remotely Operated Vehicle) ile görüntüleme gerçekleştirilmiş ve görüntüler elde edilmiştir. Bu modelleme çalışmasında elde edilen görüntü verileri Metashape yazılımında işlenmiş ve üç boyutlu alan rekonstrüksiyonu yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1. Fotogrametri Nedir?

Zaman içerisinde hızlı bir şekilde gelişim gösteren Fotogrametri, son yıllarda su altında da kullanılmaktadır. Fotogrametri; arkeolojik eserlerin belgelenmesinde ve üç boyutlu (3B) modellemelerin oluşturulmasında günümüzde en çok tercih edilen ve popüler olan kayıt yöntemidir (Uslu vd., 2016: 165; Tousant ve Fai, 2019: 1163). Bilgisayar destekli yazılımların ve teknolojik aletlerin gelişimleri sayesinde hızlı ve geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan fotogrametri yöntemleri, karasal ve sualtıyla ilgili birçok disiplinde olduğu gibi, sualtı kültür mirasının belgelenmesinde ana metot olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fotogrametri sözcüğü Eski Yunanca'dan, günümüz dillerine girmiş olan üç sözcükten meydana gelmektedir:

Photos(ışık) + Gramma(çizim)+ Metron(ölçme)

Fotogrametri için birçok tanım ve disiplinlere göre tercih edilen farklı terimler bulunmaktadır. SfM (Structure from Motion) (Hareketten Yapı), Multi Image Photogrammetry (Çoklu Görüntü Fotogrametrisi), Close-Range Photogrammetry (Yakın Resim Fotogrametrisi), Computer Vision Photogrammetry (Bilgisayar Görüşü Fotogrametri) kullanılan başlıca terimlerdir ve bu terimler aynı sistemi belirtmektedir (Yamafune, 2017a: 522; McCarthy vd., 2019: 3-4). Farklı terimlerin kullanılmasının temel sebebi çeşitli disiplinler ile farklı teknolojilerin ve bilim insanlarının, Fotogrametri iş akışlarına yaptığı etki ile, üç boyutlu (3B - 3D) model üretimi için kullanılan Visual Sfm, Photoscan/Metashape, Reality Capture, PhotoModeler, Meshroom, Pix4D ve daha birçok entegre yazılım paketlerinin gelişiminin olduğu görülmektedir. Uzmanlar arasında yukarıda bahsedilen bu terimler yerine arkeolojide ortak bir terim olarak "Fotogrametri"nin, daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (McCarthy vd., 2019: 4).

Fotogrametri; çekilen görüntülerde yer alan objeler ve çevresinden yansıyan ışığın yardımıyla elde edilen elektromanyetik görüntünün ölçülmesi, kaydının alınması ve yorumlanmasını sağlayan geometrik ve sanatsal bir bilim dalıdır (Kork, 2006: 3). Bunun dışında daha iyi anlaşılabilmesi için farklı açıklamalarda mevcuttur.

Fotogrametri terimi için ISPRS'in³ (2016) yaptığı tanıma göre; "*Fotogrametri, zaman içerisinde, nesnelerin ve sahnelerin görüntü ve mesafe verilerinden, güvenilir bir şekilde üç boyutlu geometrik ve tematik bilgiyi çıkarmanın bilim ve teknolojik yoludur*"⁴. Fotogrametri metodu çekilen obje ve çevresinden elde edilen verilerin matematiksel ve geometrik veriler ile

³ ISPRS: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu

⁴ ISPRS. (2020). ISPRS Tanımı. Erişim adresi: <https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx>. (erişim tarihi: 09.08.2020).

işlenmesi, ölçülmesi, haritalandırma, plan ve üç boyutlu (3B) modellemelerinin yapılmasına imkân sağlayan bir yöntemdir (Kork, 2006: 4). Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğüne göre Fotogrametri tanımı ise şu şekildedir: “İmgelerden nesneler, yeryüzü şekilleri ve benzerleri hakkında matematiksel yöntemler kullanarak üç boyutlu model üzerinde geometrik ve anlamsal bilgilerin elde edilmesine olanak sağlayan bilim disiplini.”⁵

Fotogrametri hava ve karasal çalışmalarda uygulanmasının dışında su altında da uygulanmaya başlamıştır. Su altında fotogrametrinin kullanımını zorlaştıran ana faktörler ışığa bağlı olarak gerçekleşen ışığın kırılması, soğurulması (emilimi) ve sınırlı görüştür. (Van Damme, 2015: 17). Bu faktörler verilerin toplanması ve işlenmesindeki temel zorluklar olarak bilinmektedir. Bunlar dışında deniz akıntısı, deniz suyunun yoğunluğu, sıcaklık-tuzluluk oranı, arazinin topografyası gibi etkenlerde fotogrametriyi etkilemektedir. Söz konusu olan fotogrametri, topoğrafik harita yapımında, modelleme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanları için kullanılmaktadır. Ayrıca mimaride resim ölçmeleri ve yapılarda, mühendislikte cisimlerin prezisyonlu ölçümlelerinde, restorasyon ve konservasyon alanında, animasyon ve oyun sektörlerinde, VR (Virtual Reality) ile sanal müzeler, animasyonlar ve akademik araştırmaların yapıldığı birçok alanda ve disiplinde kullanılmaktadır (Klaus, 2017: 4). Buradan anlaşılmaktadır ki oldukça geniş bir kullanım ve uygulama yelpazesine sahiptir. Fotogrametri sadece verilerin yayınlanması, belgelenmesi için değil aynı zamanda erişilemeyen bir arkeolojik alanın sanal olarak ziyaret edilmesi ve deneyimlenmesi olanağını da sunmaktadır. Bu olanak da VR (Sanal Gerçeklik) veya AR (Arttırılmış Gerçeklik, Augmented Reality) uygulamaları ile gerçekleştirilmektedir.

Sonuç olarak Fotogrametri terimi, elde edilen görseller üzerinden görüntünün ölçülmesi, matematiksel ve geometrik (boyut, şekil, konum, vb.) olarak verilerin hesaplanması ve yazılımlar aracılığıyla işlenip yorumlanmasına olanak veren bir bilimdir. Fotogrametri sayesinde ortofoto (yüksek çözünürlüklü foto-mozaiik) üretimi, Üç boyutlu (3B) dijital modelleme, coğrafi referanslı haritalar, VR uygulamaları (Sanal müzeler, sergiler) animasyonlar, DEM, 1:1 ölçekli replikalar ve üç boyutlu (3B, 3D) baskılar yapılmaktadır. Bu sayede arkeolojik varlıkların dijital ortamda akademi ve toplum ile in-situ bir şekilde buluşması sağlanmaktadır.

⁵ Türkiye Bilimler Akademisi. (2020). Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü, Fotogrametri. Erişim adresi: <http://www.tubaterim.gov.tr/>, (erişim tarihi: 09.08.2020)

1.2. Fotogrametri'nin Tarihsel Gelişimi

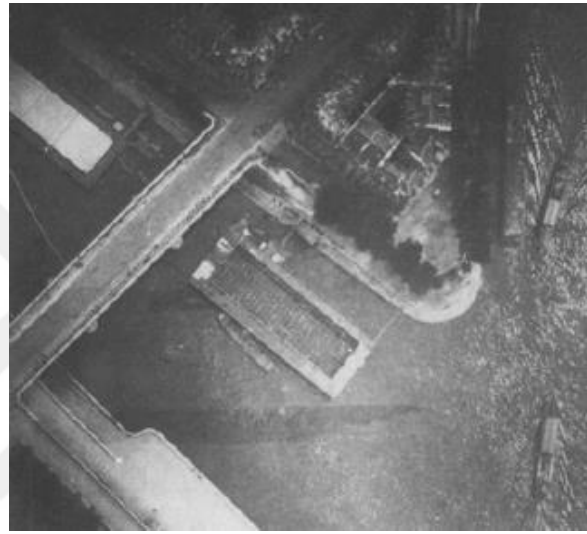
Fotogrametri'nin ortaya çıkışında fotoğrafçılık ve fotoğrafçılığın gelişimi oldukça önemlidir. Fotogrametri; düz bir yüzeye araziye optik olarak yansıtmaya dayanmaktadır ve bunu da fotoğraflar üzerinden yapmaktadır. 1826 yılında Joseph Nicephone Niépce önce bir fotoğraf çekme yöntemi geliştirmiş (Fig. 1) ve 1839 yılında ilk fotoğrafın Niépce tarafından çekilmesiyle (Kork, 2006: 6; Burtch, 2008: 2) birlikte ardı ardına gerçekleşen teknolojik gelişmeler olmuştur. 1851'de Fransız Askeri topografi Aimé Laussedat tarafından fotoğraflar üzerinde ölçüm yapılmasına izin veren bir görüntüleme aracını yani kamerayı icat etmiştir. 1858 yılında Alman mimar A. Meydenbauer'in kamu binalarının belgelenmesi için fotoğraflar üzerinden ölçümler yapmasıyla gelişmeler birbirini takip etmiştir (Konecny, 2003: 106). 1855'de ise bilinen ilk hava fotoğrafı G.F. Tournachon (Nadar) tarafından bir balon içerisinden çekilmiştir (Kork, 2006: 6) (Fig. 2). 1903 yılında Wright Kardeşlerin motorlu hava taşıtı olan uçağı icat etmesi ile yaşanan gelişmenin sonucunda, Fotogrametri için görüntülerin elde edilmesinde uçaklar yaygın olarak kullanılmaya başlandı (Konecny, 2003: 109). Motorlu uçakların icadı Hava (Aerial) Fotogrametrisinin ortaya çıkmasında ve gelişmesinde büyük bir rol oynamıştır. Bu birbirini takip eden gelişmelerin bir sonucu olarak Fotogrametri, ilk olarak I. ve II. Dünya Savaşı sırasında uçaklara yerleştirilmiş olan kameralardan elde edilen görüntüler vasıtasıyla foto-mozaiik veya bir harita oluşturmada kullanılmıştır. Böylelikle Fotogrametri, düşman bölgeler hakkında keşif, stratejik veriler ve bu verilerin yorumlanması için kullanılmıştır (Konecny, 2003: 7-9; Van Damme, 2015: 8; Yamafune, 2017a: 518).

Ayrıca 1856'da ilk sualtı görüntüleri çekilirken, ilk fotoğrafların dalgıçlar tarafından 1893'de ve 1914'te ise ilk filmin çekildiği bilinmektedir (Martinez, 2014: 2; Shortis, 2019: 11). 1930'lardan sonra housing'in⁶ icat edilmesiyle film kameraları sualtında yoğun bir şekilde kullanılmış ve 1950'lerde Scuba kullanımı yaygınlaşmaya başlamasıyla ilk belgeleme çalışması olarak sualtı ortamı kayıt edildiği görülmektedir. En önemli gelişme ise 1957'de ilk su geçirmez 35mm kamerasının (Nikonos) icat edilmesi olmuştur. Daha sonra bu gelişmeleri takiben 1964'de ilk olarak sualtı görüntüleri Fotogrametri ile birlikte Geç Roma batığının stereo kamera sistemi ile haritalandırılması olmuştur. Geliştirilen bu kamera daha sonra dalgıç kontrollü sistemlere ve uzaktan kumandalı su altı cihazlarına yerleştirilmiştir (Bass ve Doornick., 1982: 9-28; Shortis, 2019: 11).

⁶ Su geçirmez kılıf.



Figür 1: 1839 yılında Niépce tarafından çekilen ilk fotoğraf (Kork, 2006: 7, Resim 2).



Figür 2: Nadar'ın balondan çektiği hava fotoğrafı (Kork, 2006: 7, Resim 3).

Teknolojideki gelişmeler devam etmiş ve günümüzde ise dijital kamera ve sistemlerin yanı sıra sualtı araçları (ROV, AUV), lazer sistemleri ve sonar sistemleri gibi teknolojik cihazlarla da görüntüleme ve belgeleme işlemleri yapılabilmektedir.

Fotogrametrinin çeşitli durum, teknoloji ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma şu şekilde verilmiştir:

Uygulama alanına göre;

1. Topografik Fotogrametri
2. Topografik olmayan Fotogrametri

2.1. Foto Yorumlama

2.2. Mühendislik Fotogrametrisi

Değerlendirme de kullanılan fotoğraf sayısına göre;

1. Tek resim değerlendirmesi
2. Çift resim değerlendirmesi

Değerlendirilecek objenin büyüklüğüne göre;

1. Mikro Fotogrametri

2. Makro Fotogrametri

Resimlerin Çekilme Konumuna Göre;

1. Yersel Fotogrametri (Yakın Resim Fotogrametrisi)

2. Hava Fotogrametrisi

3. Uzaktan Algılama

4. Sualtı Fotogrametrisi

(Avşar, 2006: 2-4; Kıvanç, 2019: 14-18; Kaya vd., 2019: 1).

Hem karada hem de sualtında yaşanan gelişmelerin etkisi 1850’li yıllardan itibaren fotogrametri’de gözlemlenen gelişim, yukarıda bahsedilmiş olan sınıflandırmaları ortaya çıkarmıştır. Yukarıda belirtilen bu sınıflandırmalar dışında, değerlendirme yöntemine göre sınıflandırılan 4 aşama daha vardır ve bu aşamalar aynı zamanda fotogrametrinin kronolojik bir şekilde gelişimini de göstermektedir. Aşağıda ayrı bir başlık altında bu yöntemler daha detaylı açıklanacaktır. Bahsedilen bu yöntemler:

1- Grafik (Plançete) Fotogrametri

2- Analog Fotogrametri

3- Analitik Fotogrametri

4- Dijital Fotogrametri

Gelişmelerin devamında sualtı arkeolojisinin temsilcisi olan G. F. Bass ve Dr. Frederick Van Doornick, tarafından Yassı Ada Sualtı araştırmalarında deneysel olarak fotogrametri yöntemi 1960 yıllarında kullanılmıştır (Bass ve Doornick, 1982: 11-15). 30 yıllık bir gelişim sürecinin ardından 1990 yıllarında geliştirilen DSM (Direct Survey Method) ile bu alanda gelişme kaydedildiği görülmektedir. (Van Damme, 2015: 21; Yamafune, 2017a: 520). Sözü edilen DSM metodu; alana yerleştirilen kontrol noktaları ve bu noktalar arasındaki uzaklıkların ölçülmesi ve koordinatlarının alınmasıyla XYZ düzleminde bir yerel ağ oluşturularak, nesnelerin bu ağ içerisindeki tam konumunun saptanmasına ve 3B modellemelerinin yapılmasına imkân sağlayan bir tekniktir.

1990 ve 2000’li yıllara gelindiğinde ise kalibresi ayarlanmış kameralar yardımıyla çekilen, en az 3 kontrol noktalı görüntüler PhotoModeler uygulamasıyla üç boyutlu (3B) olarak modellenmiştir. Bu titizlikle kalibre edilmiş kameralar sayesinde referans noktalarının XYZ koordinatlarını yazılım içerisinde hesaplanmasıyla 2B planlar ve 3B CAD çizimleri elde edilmiştir (Yamafune, 2017a: 520-521). 3B model üretilmeye başlanması 2010’lu yıllara gelindiğinde popüler belgeleme yöntemi olmuştur. Ayrıca bu verilerden ortofoto’da

yapılmaktadır. 2010 yılı ve sonrasında etkisini fotogrametride gösteren Agisoft firmasının Photoscan uygulaması bu alanda ilk tercih edilen CAD yazılımı olmuştur.

2010 yılı sonrasında 3B dijital modelleme sistemini belirtmek için birçok terim kullanılmaya başlanmıştır. SfM (Structure from Motion), Multi İmage Photogrammetry, Close-Range Photogrammetry, Computer Vision Photogrammetry, kullanılan başlıca terimlerdir (Yamafune, 2017a: 522; McCarthy vd., 2019: 3-7). Bu terimlerin varlığı ve kullanımı Fotogrametri'nin birçok farklı alanda ve bilimdeki uzmanlar tarafından uygulanmasından dolayı ortaya konmuştur. Bu tezde birçok terime sahip olduğu görülen Dijital Fotogrametri için konu bütünlüğü açısından tez içerisinde Fotogrametri terimi kullanılmıştır.

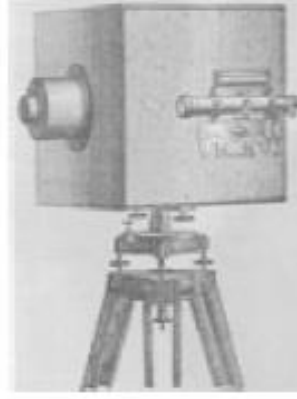
Fotogrametri terimi 1960-1980 yılları arasında foto-mozaiik olarak ortaya çıkarken, 1990-2000 yılları arasında XYZ koordinat sistemli 2B plan ve 3B CAD çizimleri olarak karşımıza çıkmakta ve 2010 yılı sonrasında ise 3B dijital modelleme için kullanılan terim olarak belirtilmektedir (Yamafune, 2017a: 522).

1.3. Değerlendirme Yöntemine Göre Fotogrametri

Fotogrametri başlı başına bir bilim olmasının yanında, değerlendirme yöntemi olarak teknolojik gelişmelerle paralel bir şekilde çok çeşitli ve farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır. Matematiksel model olarak aynı olsa da birbirinden ayırt edici özelliklere sahip yöntemler vardır. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi, değerlendirme yöntemleriyle kronolojik bir şekilde gelişme kaydederek ilerlediği 4 aşamaya sahiptir. Bunlar; 1-Grafik (Plançete) Fotogrametri, 2-Analog Fotogrametri, 3- Analitik Fotogrametri ve 4- Dijital (Sayısal) Fotogrametri'dir (Kıvanç, 2019: 15).

1.3.1. Grafik (Plançete) Fotogrametri

1850'lerden 1900 yıllarına kadar kullanılan "Plançete Fotogrametri" (Plane Table Photogrammetry), temel geometrik prensiplerden ve matematikten yararlanarak vektörel harita üretilmesidir (Fig. 3). Plançete (Grafik) Fotogrametri, geleneksel düzlem masa yüzey araştırmasının bir uzantısı olduğu bilinmektedir (Burtch, 2008: 6). Kamera ve hassas bir ölçüm aleti olan teodolitlerin birleştiği, foto-teodolit'lerden yararlanılmaktadır. Plançete Fotogrametri, fotoğraflardan elde edilen uzunluklar ve açılar kullanılarak matematiksel işlemlerin gerçekleştirilmesiyle çizgisel harita üretimidir (Kıvanç, 2019: 15).



Figür 3: Plançete (Grafik) Fotogrametrisi Düzeneği. (Sholarin ve Awange, 2015: 214 Fig. 10.1).

Topografik harita yapımı için ilk olarak askeri amaçlarla gelişmeye başlayan Fotogrametri, motorlu uçakların icadı ile I. Dünya Savaşı'nda ilk deneylerinin yapılmasından sonra İkinci Dünya savaşında askeri amaçlarla kullanılmış ve bu gelişmeyi takip eden yenilikler ile büyük ölçekli olarak sivil haritacılıkta kullanılmaya başlanmıştır. Buna paralel olarak pek çok ülkede bu yöntemle haritalar yapılmaya başlandığı görülmektedir (Burtch, 2008: 4, Yamafune, 2017a: 519-522).

1849 yılında Aimé Laussedat topografik haritaları tamamlayabilmek için karasal fotoğrafları kullanan ilk kişidir ve “Fotogrametrinin Babası” olarak görülmektedir. 1858’de ilk hava fotoğrafını balondan çekmiş ancak tüm alanı içerecek etkili fotoğrafların çekimi kolay olmamıştır. 1867’de Paris’in planı fototeodolitler⁷ kullanılarak fotografik şekilde yapılmıştır (Burtch, 2008: 5-6). 1855’de Nadar ilk hava fotoğrafını çekmiş (Fig. 4) ve 1859’da Napoleon’un Nadar’a olan emriyle Solferino Savaşına hazırlık için fotoğraf çekimi yapılmıştır. Bunlarla birlikte birçok gelişme meydana gelmeye devam etmiştir. 1893 yılında Dr. Albrecht Meydenbauer Fotogrametri terimini kullanan ilk kişi olmuştur ve Royal Prussian Photogrammetric Institute’yu kurup 1909 yılına kadar yönetmiştir. Mevcut kameraların Fotogrametri için yeterli olmadığını düşünen Meydenbauer, 1867’de ilk kamerasını tasarlamıştır. Ancak bununla da yetinmeyip daha sonrasında da kameralar tasarlamaya devam etmiştir. (Burtch, 2008: 5-9).

⁷ Fototeodolit: Genellikle astronomik ölçümler için kullanılan ve üzerinde fotoğraf makinesi bulunan teodolit türüdür. Rasathânelerde kullanılır. Enlem ve boylam yönleri bilinmeyen yerlerde güneş, kutup yıldızı veya diğer yıldızların gözlenmesiyle enlem ve boylamların yönlerini tespit edebilir. Eskiler, U. (2017). Teodolitler Nedir, Özellikleri Nelerdir? (Tarihçesi). Erişim adresi: <https://www.makaleler.com/teodolit-nedir-ozellikleri-nelerdir> (erişim tarihi: 19.05.2021).



Figür 4: Nadar bir balondan fotoğraf çekiyor. (Burtch, 2008: 6, Figure 10).

1.3.2. Analog Fotogrametri

1900’lü yıllardan 1960 yıllarına kadar kullanılan Analog Fotogrametri (Burtch, 2008: 3), çekilen analog resim ile başlayan ve optik kameralar ile alanın yeniden oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu şekilde 3B nesne modelinin elde edilmesini sağlayan sistemlerin kullanıldığı Fotogrametri yöntemidir. Bir başka tanımlama ile; optik cihazların kullanımı ile stereo görüntülerin elde edilmesi, değerlendirilmesi ve 3B modellemesinin yapıldığı fotogrametri yöntemidir (Kıvanç, 2019: 15) (Fig 5).



Figür 5: Analog Stereo Değerlendirme Aleti. Kaynak: (faireysurveys.co.uk).

1901 yılında C. Pulfrich ilk kez “stereokomparatör”ü tasarlamış ve stereo çiftlerinden harita çizimi yapılmasına katkıda bulunmuş olması nedeniyle zaman zaman “Stereofotogrametri’nin Babası” olarak anılmaktadır. 1903 yılında Theodor Scheimpflug, havadan çekilmiş fotoğrafları düşeye çevirme işlemi yapan “Perspektograph” (Kork, 2006: 11; Burtch, 2008: 11-12) adıyla anılan icadıyla ilk kez, ölçekli bir şekilde arazinin planını kaydetmiştir. 1908 yılında Almanya’da Eduard von Orel tarafından ilk “stereoautograph”

geliştirilmiştir. Bu cihazın yapı prensipleri, karasal fotogrametriyi özellikle dağlık alanlarda pratik hale getirmiştir. (Klaus, 2007: 5; Burtch, 2008: 14).

1945 yılına kadar devam eden analog değerlendirme (çizim) aletleri ve metrik (ölçülendirme) kameralarda gelişmeler olmuştur. Harita üretimi için oluşturulan Fotogrametri yöntemleri, uçaklar aracılığıyla kameralarda ve analog aletlerdeki gelişimi takiben gelişmiş ve bu analog yöntemlerde elde edilen eş yükseklik eğrileriyle birlikte gösterilen çizgisel haritalar oluşturulmuştur (Aydar, 2007: 8). 1970'li yıllara kadar kullanılan bu metotta, merkezi perspektif izdüşüm temel ilke olarak karşımıza çıkmakta ve bu ilkeye bağlı olarak görüntünün yeniden işlenmesi/yapının yapılmasıdır (Kork, 2006: 44).

1.3.3. Analitik Fotogrametri

1960'lı yıllardan günümüze kadar kullanılan bu yöntemde de analog resmin elde edilmesiyle başlayan süreç, yapılan ölçmeler ve yöneltmeler sonucunda hesaplanır. (Burtch, 2008: 28-32). Özellikle bilgisayarın icadı (Almanya 1941 ve ABD 1943) ile fotogrametrik gelişmelerde önemli ilerlemeler sağlanmıştır ve analitik fotogrametrinin gelişiminden sorumludur (Burtch, 2008: 28). Stereoskopi gibi araçlarla elde edilen resmin, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları sayesinde gerçek dünya koordinatlarının hesaplanması, modellenmesi ve ölçekli çizimlerinin yapılmasına olanak sağlayan yöntemdir (Kork, 2006: 46; Kıvanç, 2019: 15) (Fig. 6).



Figür 6: Analitik Stereo Değerlendirme aleti. Kaynak: (aerialservicesinc.com).

1.3.4. Dijital (Sayısal) Fotogrametri

Günümüzde kullanılan dijital fotogrametrinin görüntü ve ölçüm verilerinin dijital ortamda tutulduğu uygulamalardır. Analog resimlerin taranarak dijital resimlerinin kullanımıyla ve dijital fotoğraf makinalarından elde edilen görüntüler kullanılmaktadır (Kork, 2006: 121) (Fig. 7). Dijital Fotogrametri’de, yazılım ve donanım destekli bilgisayarlarda görüntülerin depolanması ve bu verilerin işlenmesi temeldir. Dijital görüntülerin kullanılması sayesinde yazılım içerisinde yer alan ölçüm aletleri ile ölçümler yapılmaktadır.



Figür 7: Dijital Fotogrametri cihazları. Kaynak: (veoptics.com).

Yüksek çözünürlüklü veri elde edilmesi, birçok renk ve düzenlemeler ile görsel çıktı veya modelleme üzerinde istenildiği şekilde iyileştirilmenin yapılabilmesi gibi seçenekler sayesinde Dijital Fotogrametri günümüzün en çok tercih edilen değerlendirme yöntemi olmuştur. Dijital fotogrametrik yöntemlerle kültür varlıklarının görüntülenmesi, belgelenmesi, elde edilen verilerin korunması ve yönetimi ile restorasyon çalışmaları sırasında zaman içerisinde oluşan hasarların tespiti yapılmaktadır (Uslu vd., 2016: 166). Ayrıca dijital fotogrametri ile elde edilen nokta bulutu sayesinde koruma stratejileri geliştirmek mümkündür. Oldukça hızlı ve güvenilirdir.

İKİNCİ BÖLÜM

SU ALTINDA FOTOGRAMETRİ

2.1. Sualtı Fotogrametrisi

Geleneksel karasal veya hava fotogrametrisinin bir başka uygulaması olan sualtı fotogrametrisi, birbirini takip eden gelişmeler ile teknoloji ve teknikler doğrultusunda yapılmaya başlanmıştır. İlk sualtı görüntülerinin 1856 yılında başlamasından sonra birçok gelişme yaşanmıştır. 1943 yılında E. Gangan ve Jacques Cousteau⁸ tarafından Aqua-Lung (regülatör) icadı ile, Scuba⁹ kullanımının yaygınlaşmasıyla tüplü dalışların sualtı arkeolojik alanlarında yapılmasının önünü açmıştır (Drap, 2012: 111). Ulaşılması güç olan batık gemi enkazlarına ve arkeolojik alanları görüntüleme, inceleme, üzerinde çalışma ve belgeleme imkânı sağlamıştır. Bu perspektifle çeşitli karasal yöntemlerin su altında deneysel olarak uygulanmaya başlandığı görülmektedir (Drap, 2012: 111-112).

1960'lı yıllardan itibaren fotogrametrinin ilk uygulaması yapılmaya başlanmış ve denizcilik (nautical) arkeoloğu olan G. F. Bass ve Dr. Frederick van Doorninck tarafından deneysel olarak hayata geçirilmiştir. Bu tarihten sonra yaklaşık 30 yıl boyunca ciddi bir ilerleme kaydedilememiş olsa da fotogrametri gelişme göstermiştir. Teknolojik gelişmeler devam ettikçe metotlar da gelişmiştir (Bass ve Doorninck, 1982: 11-15; Drap, 2012: 112; VanDamme, 2015: 17-26; Yamafune, 2016: 1; Shortis, 2019: 11).

Sualtı arkeolojisi, denizcilik arkeolojisi, sualtı kültür mirasında ve bilimsel birçok disiplinde günümüzde kayıt yöntemi olarak kullanılmaya başlayan dijital fotogrametri yöntemi, gelişen yeni teknolojik cihazlar ve bilgisayar yazılımlarıyla entegre olmayı başarmıştır. Ayrıca derin ve sığ sularda belgeleme çalışmalarında geleneksel aletlerden de yararlanılmaya devam edilmiştir. Yararlanılan bu geleneksel aletler içerisinde; ip, su terazisi, şakül hatları, mezuralar, çizim için kalem ve çizim tahtası, eşeller, nivo, total station kullanılmaktadır (Eric vd., 2013: 281; Kıvanç, 2019: 10; Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 2). 3B'lu verilerin toplanması için gerekli ekipmanlar, açık kaynaklı yazılımlar ile analiz ve modelleme işlemlerinde yaşanan gelişmeler ile düşük maliyetli sistem ve ekipmanlar ile ortaya konulan yöntemlerle Sualtı Kültürel Mirasının, arkeolojik eserlerin tam ve daha doğru olarak belgelenmesini sağlamaktadır. Geleneksel araçların dışında su altındaki arkeolojik alanları bulmak ve haritalandırmak için; yan taramalı sonar, manyetometre, sub-bottom profiler, tek ve çok ışınlı (multibeam)

⁸ Britannica. (2021). Jacques Cousteau. Erişim adresi: <https://www.britannica.com/biography/Jacques-Cousteau> (erişim tarihi: 01.04.2021), Lemelson-MIT. (2021). Jacques-Yves Cousteau and Emile Gagnan. Erişim adresi: <https://lemelson.mit.edu/resources/jacques-yves-cousteau-and-emile-gagnan> (erişim tarihi: 01.04.2021).

⁹ Sualtında kendi kendine yeterli soluma sistemi.

echosounder gibi sistemler kullanılmaktadır. Bu cihazlardan elde edilen veriler ve bu verilerin yorumlanması ile araştırma, haritalandırma ve belgeleme çalışmaları yapılabilmektedir. Ancak bu cihaz ve yöntemler, radyo ve lazer sistemlerinin kullanıldığı arkeolojik bir sahanın araştırılması için yeteri kadar kesin sonuçları olmadığı düşünülmektedir. (Eric vd., 2013: 281-282; Davidde Petriaggi ve Ayala, 2015: 79). Bu sistemler tek başına uzaktan algılama için fotogrametride kullanılabildiği gibi batimetri ile birlikte de kullanılmaktadır. Ayrıca batimetri ve fotogrametriden elde edilen verilerin birlikte kullanıldığı füzyon sistemler de vardır.

Su altında gerçekleştirilen Fotogrametri çalışmasında çeşitli zorluklarla zaman içerisinde karşılaşılmış ve bu zorluklar çözülmeye çalışılmıştır. Bu da birkaç önemli sorunun sorulmasını ve cevaplanmasını gerektirmektedir. Sualtı Fotogrametri'sinde karşılaşılan zorluklar nelerdir? Bu zorluklar nasıl çözülür? Neden günümüzde en çok tercih edilen kayıt metodu olarak karşımıza çıkmıştır? Avantajları ve Dezavantajları nelerdir?

Su altında gerçekleştirilen Fotogrametri'yi etkileyen başlıca zorluklar; ışığın kırılması, ışığın emilimi (soğurulması) ve görüş netliğidir. Yapay ışıklar ve çeşitli yöntemlerle bu durum giderilmeye çalışılmıştır. Kazı çalışmalarında aşama aşama belgelemenin hızlı ve etkili yolu Fotogrametri'dir Fotogrametri'nin ana yöntem haline gelmesindeki en önemli faktör herhangi bir ekip üyesi tarafından kazı alanına gitmeye gerek kalmadan model üzerinden çalışmaları gerçekleştirme imkânı sağlamasıdır (Derenne vd., 2019: 77). Böylelikle dalgıçlar için güvenliği arttırırken, çalışmaların masrafını azaltmakta ve zamandan tasarrufu da sağlamaktadır. Elde edilen verilerle üretilmiş 1:1 ölçekli ve coğrafi referanslı model üzerinden gerekli arkeolojik verilere ulaşılmaktadır. Gerekli veriler birkaç dalış sonrasında toplanmakta ve tamamlanmaktadır. Sualtı cihazlarındaki¹⁰ (ROV-AUV) gelişmeler ile dalgıçların desteğini zorunlu kılan bu durum yakın zamanda ortadan kalkacak şekilde gelişmektedir. Sağladığı imkanlardan ötürü doğru şekilde verinin toplanması, fotoğrafların veya videoların elde edilmesi oldukça önem kazanmaktadır. Dalgıca olan bağımlılığı azaltması, güvenli, ucuz olması ve zamandan tasarruf sağlaması başlıca avantajları olarak görülmektedir. Dezavantaj olarak sualtı çevresel koşulları ve topoğrafyasına bağımlı olmasını söyleyebiliriz. Ayrıca ince ve tek renk (monoton) yüzeylere sahip nesnelerin Fotogrametri'de tanınması oldukça zordur. Bu yüzden bu tür nesnelerde oluşan eksiklikleri gidermek için içe veya dışa farklı formatlarda modelleme bir başka yazılım içerisine aktarılarak eksikliği giderilmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta içe veya dışa aktarılırken modellemenin bulunduğu düzlemsel orijinal konumu korumasıdır (Yamafune, 2016: 79-81).

¹⁰ Bazı kaynaklarda sualtı robotları olarak geçmektedir. Bkz. Teague and Scott, 2017.

Sualtı kültür mirasının belgelenmesinde Fotogrametri ve modellemeler için seçilen yazılım genellikle Agisoft Metashape (Photoscan) yazılımıdır. Kamera kalibrasyonuna ihtiyaç duymayan bu yazılım aynı zamanda kullanılan kameranın metrik olması veya metrik olmaması durumundan da etkilenmemektedir. Bu yazılım üzerinden dijital görüntülerdeki (fotoğraf/video) piksel bilgisi kullanılarak mesh'ler, üç boyutlu (3B) modellemeler, orthophoto (yüksek kalitedeki foto-mozaiik) oluşturulmaktadır. Başarılı bir Fotogrametri işlemi için birbirini takip eden fotoğraf karelerinin üst üste, %60-80 oranında gelecek şekilde olması gerekmektedir. Zaman zaman görüntülerden elde edilen ürünlerin kötü olması durumunda, kamera-lens kalibrasyonun yapılmasını “Agisoft Metashape User Manual”de önerilmektedir (Agisoft LLC,2018: 8-13; Agisoft LLC, 2019: 8-13). Ayrıca bazı uzmanlar tarafından kamera kalibrasyonunun yapılması gerektiği de önerilmektedir (Skarlatos vd., 2010: 2-4; Diamanti vd., 2011: 2-5; Drap, 2012: 114-115). Çünkü modellemenin doğruluk oranını arttırmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında Metashape yazılımının kamera kalibrasyonuna ihtiyaç duymadığını ve matematiksel algoritmaları sayesinde otomatik olarak gerekli işlemleri hesapladığı bilinmektedir (Yamafune, 2016: 6; Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 4). Hali hazırda yazılım yüklenen fotoğraflar üzerinden kullanılan makinayı ve özelliklerini tespit edebilmekte ve buna göre kendisini ayarlamaktadır. Yazılım içerisinde yer alan algoritma buna izin vermektedir. Tüm bu bilgilerden hareketle kamera kalibrasyonu işlemi uzmanların tercihiine bağlıdır.

Fotogrametri için kodlanmış işaretlerin kullanımı modelleme ve belgeleme işlemlerinde kolaylık, ölçümlerin ve ölçeklendirmenin doğru olmasını sağlamaktadır. Karasal alanda kullanılmak üzere tanımlanan bu kodlanmış hedefler modelleme de başarı ve doğruluk konusunda oldukça etkilidir. Bu kodlanmış hedeflerin lazer tarayıcı ile mylar¹¹ kağıdına yazdırıldığı görülmektedir. (Yamafune, 2016: 20-22). Coğrafi referanslı modelleme yapılabilmesi için de gereken verilerin toplanması oldukça zorlayıcıdır. Kontrol noktalarının iyi tespit edilmesi veya tanınabilir şekilde olması gerekmekte ve bu noktaların dünya üzerindeki gerçek koordinatlarını belirlemek bir sorun yaratmaktadır. Çünkü su altında GPS'in çalışmadığı görülmektedir (Block et al, 2017: 552). Bu soruna alternatif çözümler üretilmektedir. Örneğin sığ sularda, bir noktaya yerleştirilen dik bir çubuk yardımı ile su yüzeyinde GPS koordinatları elde edilerek noktaların verilerinin toplandığı görülmektedir (Balletti vd., 2015: 9-10, Figure 7, 8).

Sualtı kültür mirası ve birçok alanda kullanılmaya başlanan Fotogrametri yöntemlerinde kullanılan teknolojik cihazlardan elde edilen fotoğraf, video ve ölçümlerin, bilgisayar

¹¹ Plastik kâğıt.

yazılımlarında işlenerek üç boyutlu (3B) modelleme ve alan rekonstrüksiyonu yapılmaktadır. Bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemenin yanı sıra açık kaynaklı yazılım ve araçların geliştirilmesiyle 3B verileri kurtarma ve modelleme yöntemlerinin in-situ belgeleme metodolojisini dönüştürmüştür. (Eric vd., 2013: 284). Yapılan bu çalışmalarda batık alanının, eserlerin, kısaca sualtı kültür mirasının 1:1 ölçekli coğrafi referanslı planları, modellemeleri elde edilmekte olup, teknolojinin gelişimi ile VR (Virtual Reality-Sanal Gerçeklik) teknolojileri gibi olasılıklarla toplumun, arkeologların tanık olup ziyaret etmesine ve sanal müzeler oluşturulmasında kullanılabilir.

Tüm bu gelişmelerin yanında son yıllarda sualtı fotogrametrisinde hızlı, yüksek doğrulukta ve maliyeti düşük yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Her ne kadar düşük maliyetli cihazlar olsa da sualtı arkeolojisi pahalıdır (Drap vd., 2019: 149). Yukarıda bahsedilen cihazlar ve teknolojilerin yanı sıra, Drap ve arkadaşlarının (2019) yayınladığı makalede makine öğrenmesi (Machine Learning)¹²¹³ ve derin öğrenme (Deep Learning)¹⁴¹⁵ yaklaşımı ile ortofotolar (orthophoto) üzerinden eserlerin (Xlendi batığının üzerinde yer alan amphoraların) tespiti ve çizimi için bu teknoloji kullanılmıştır. Makine öğrenmesi yerine derin öğrenme yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu tercihteki faktör ortofoto üzerinde yeterli sayıda aynı tipte örneğin bulunmaması ve bu durumun makine öğrenmesi modelini eğitme sürecini giderek karmaşık bir duruma getirmesidir. Çünkü makine öğrenmesi modeli, bir amphora modelini öğrenmek için aynı tipolojiye sahip amphoraları içeren ortofotolara ihtiyaç duymaktadır. Ancak aynı tipolojiye sahip amphoraları içeren ortofotoları bulmak zordur. Bu çalışmada ImageNet derin öğrenme yaklaşımı ile CNN (Convolution Neural Network) kullanılmış ve amphoraların tespit edildiği görülmüştür (Drap vd., 2019: 140-141). Ayrıca bu çalışma da stil aktarımı ile eskiz stilleri uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir. Suggestive Contour Software, NPR (Non-photorealistic Rendering) görüntüleri ile çizimlerin elde edildiği görülmektedir (Drap vd., 2019: 145). Tüm bu kaydedilen ilerlemelerden hareketle gelişen teknolojilerin su altı disiplinlere entegre edilmesi ve tüm bu çalışmaların VR teknolojileri ile oldukça geniş bir yelpazede imkânlar sunduğu görülmektedir.

¹² Yapay zekanın (AI) bir alt kümesi olan Makine öğrenmesi (ML), bir bilgisayarın veya makinenin doğrudan yönergeler olmadan öğrenmesine yardımcı olmak için veri analizleri yaparak insanlar gibi öğrenmesini sağlayan bir bilimdir.

¹³ Microsoft Azure. (2021). Makine öğrenmesi nedir? Erişim adresi: <https://azure.microsoft.com/tr-tr/overview/what-is-machine-learning-platform/> erişim tarihi: (23.06.2021).

¹⁴ Makine öğrenmesinin (ML) bir alt kümesi olan derin öğrenme (DL), yapay sinir ağlarını temel alan, katmanlarından oluşan ve bu nedenle derinlemesine öğrenme, ses, görüntü, video ve metin gibi yapılandırılmamış veri desenlerini tanımlayan öğrenme yöntemidir.

¹⁵ Microsoft Azure. (2021). Derin öğrenme ile Machine Learning Azure Machine Learning. Erişim adresi: <https://docs.microsoft.com/tr-tr/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning> erişim tarihi: (23.06.2021).

2.2. Su Altında Fotogrametri'yi Etkileyen Faktörler

Hava ve kara ortamında yapılan bir belgeleme çalışması ile su altında gerçekleştirilecek olan belgeleme çalışması arasında farklar bulunmaktadır. Bu farklardan dolayı karşılaşılan zorluklar da bulunmaktadır. Su altı ortamında gerçekleştirilecek bir belgeleme çalışması, çevresel koşullardan daha çok etkilenmektedir. Optik temelli olan, Su altında gerçekleştirilen Dijital Fotogrametri'nin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi çeşitli koşullara bağlıdır. Su altında gerçekleştirilen Dijital Fotogrametriyi, Sualtı Fotogrametrisi olarak adlandırmak yanlış olmayacaktır. Yüksek çözünürlüklü ve geometrik doğruluğa sahip dijital modellemeleri üretebilme ve belgeleme işlemi için en önemli faktör ışıktır. Fotogrametrinin uygulanacağı nesnenin yüzeyi, ışığın yansımalarından dolayı oldukça önemlidir. Kullanılan materyalin çeşidi fotogrametrinin başarısını, modellemenin kalitesini belirlemektedir (Unity, 2017: 12). Hareketi objeler, parlak veya güçlü yansıma yapan yüzeyler, şeffaf yüzeyler, fotogrametrik modellemenin yapılacağı yazılım tarafından fotoğraflardaki nesnenin piksel renklerini eşleyememektedir. Ayrıca büyük düz renk alanlarına sahip olması yine piksel renklerinin eşleşmesini zorlaştıracığından yazılım tarafından başarılı bir modellemenin oluşturulması zorlaşmaktadır. (Unity, 2017: 12-14) Işık saçılımının görüntü kalitesini ve renk doygunluğunu düşürmesiyle buğulu görüntülere sebep olmaktadır (Kaya vd., 2019:3).

Işığın kırılması, yansıması ve emilimi gibi olaylar, ışığın su ile etkileşime geçmesiyle gerçekleşmektedir. Işık, az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçtiğinde kırılma olayı gerçekleşmektedir. Deniz suyunun Tuzluluk oranı, sıcaklık ve basınç değerleri suyun ışığı geçirmesinde etkili olan faktörlerdir. Ayrıca rüzgârında etkisinin olduğunu kostik adı verilen parlak dokuların nesne üzerinde oluşmasından dolayı Fotogrametri de doku kalitesini etkilediği bilinmekte ve dalgalı suda ışık daha çok emilmektedir (Kaya vd., 2019: 3). Işığın sahip olduğu dalga boyları, farklı bantlarda farklı kırılma indisleri ile yansımanın renk değişimine olan etkisinde görülmektedir (Kocaman et al, 2017: 187). Su ışığı sadece soğurmakla kalmaz, farklı dalga boylarında seçimli olarak soğurur. Örneğin; kırmızı düşük enerjili olduğundan en çok soğurulan renktir. Mavi ise yüksek enerjili olduğundan en az soğurulan renktir¹⁶ (Yağımlı, 2011:3). Kısa dalga boylarına ve daha büyük enerjiye sahip olsalar ve daha uzun süre nüfuz etseler de kırılma ve emilim olayı gerçekleşmektedir. 40 metreden daha fazla derinlikte mavi renk hakimdir ve ışık kaybı hızlıdır (Mahaxamaly ve Pinel, 2017: 21). Bu faktörler de yapılacak olan fotoğraflamayı ve modellemeyi etkilemektedir. Pixeller ve nesnelerin sahip olduğu renk önem taşımaktadır. Bu yüzden yapay ışık kaynaklarının kullanılması ile çeşitli ışık tabanlı

¹⁶ Seril Yıldız. (2003). Sualtıta Fotoğraf Çekmek. Bilim ve Teknik Dergisi. Erişim adresi: <http://dalisakademisi.org/tr/Sualtinda-Fotograf-Cekmek.html> (erişim tarihi: 07.03.2020).

sorunlar çözülmektedir (Yamafune, 2016: 17). Tüm bu etkenlerle birlikte dikkat edilmesi gereken güneşin yeryüzüne bağlı olan yüksekliği, gün içerisinde çalışmanın gerçekleştirileceği zaman ile deniz suyunun mevsimsel özelliklerine dikkat etmek gerektiği de bilinmektedir (Nur vd., 2020: 61). Çünkü bu koşullar suyun ışığı yansıtma ve emilim değerlerini etkilemektedir. Bu yüzden fotoğrafların çekileceği saatlere dikkat etmek gerekmektedir (Nur vd., 2020: 61; Menna vd., 2016: 1-21).

Sualtı kameralarına ulaşımın kolaylaşması, fotogrametrinin sualtı alanlarına entegre edilmesiyle birlikte, sualtında yapılan fotogrametri çalışmalarında artış olmuştur. Maliyet ve zaman açısından kayda değer gelişmeler meydana gelmiştir. Fotogrametri için çekilen sualtı fotoğraflarını etkileyen 3 ana unsur vardır; 1- Işığın kırılması, 2- Işık emilimi/soğurulması, 3- Sınırlı görüş.

2.2.1. Işığın kırılması

Işık, çekilen fotoğraflar için en önemli faktördür. Işık ışınlarının bir ortamdan başka bir ortama geçerken yoğunluğa bağlı olarak kırılma olayı gerçekleşir. Bu kırılma ile birlikte su altındaki objeler %33 daha yakın ve %25 daha büyük gözükmektedir. Buna en iyi örnek “Broken Pencil”¹⁷¹⁸ deneyi gösterilmektedir (Fig. 8). Partiküller, ışığın kırılmasında oldukça önemli rol oynamasının yanında görüşü de etkilemektedir (Mahaxamaly ve Pinel, 2017: 19). Işığın kırılması ile sualtında perspektifin bozulduğu ve bu durumun kullanılan bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarında fotoğrafların işlenerek eşleşmesinde sorun oluşturmaktadır. Sualtı fotoğraflarındaki ışık, kamera sensörüne ulaşmadan önce birkaç aşamadan geçmektedir; suda yol alan ışık önce sualtı kamerasının housing’ine, housing’den sonra kamera lensine ulaşmasından sonra görüntü elde edilir (Van Damme, 2015: 17-18; Drap, 2012: 114–115). Bu noktada sualtı kameraları ile elde edilen görüntülerde ışığın önemli bir rol oynadığı görülmektedir.



Figür 8: Işığın kırılmasını gösteren “Broken Pencil” deneyi. Kaynak: (ingeniumcanada.org).

¹⁷ Thee Physics Classroom. (2020). The Broken Pencil. Erişim adresi: <https://www.physicsclassroom.com/mmedia/optics/bp.cfm> (erişim tarihi: 07.03.2020).

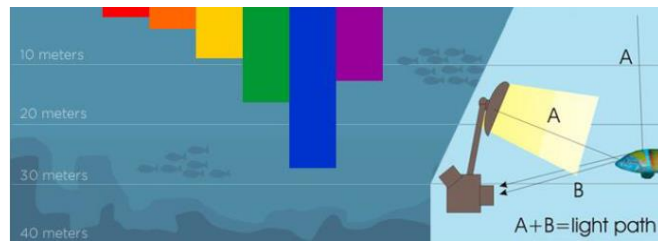
¹⁸ Canada Science and Technology Museum. (2021). Broken Pencil Illusion. Erişim adresi: <https://ingeniumcanada.org/scitech/education/try-this-out/broken-pencil-illusion> (erişim tarihi: 07.03.2020).

Işığın kırılmasına da etki eden bazı faktörler vardır ve aynı zamanda bu faktörler Fotogrametri belgeleme çalışmalarını da etkilemektedir. Bunlar denizin sahip olduğu; derinlik, sıcaklık ve tuzluluk oranlarıdır (Skarlatos vd., 2010: 2-4; Diamanti vd., 2011: 2, 4-5). Bu değerlerin artıp veya azalmasına bağlı olarak ışığın kırılması da artar veya azalır. Ayrıca tatlı su ve tuzlu su arasında, tuzluluk değerinden dolayı ışığın kırılması ile ilgili bir farklılığın olduğu düşünülebilir.

2.2.2. Işığın Emilimi/Soğurulması

Işık havadan su ortamına geçtiğinde aldığı yol boyunca aşama aşama emilmekte ve bunun nedeni ışığın ışıması ile su molekülleri arasındaki etkileşimi neden olmaktadır. Uzun dalga boyuna sahip renkler kısa dalga boyuna sahip olan renklere göre daha hızlı emilir. Derine gidildikçe renklerin kaybolduğunu görürüz (Fig. 9) ve bunun nedeni ışığın emilmesi/soğurulması olduğu görülmektedir. (Diamanti vd.,2011, 2; Skarlatos vd., 2012: 8-9; Henderson vd., 2013, 243-248). Işığa bağlı bu faktörler kamera kalibrasyonun yapılmasını önemli kılmaktadır.

Işığın soğurulması çekilen fotoğraflardaki doygunluk ve keskinlik faktörlerini etkilemektedir. Bu yüzden ışığın mümkün olduğunca nesneye yakın olarak fotoğraflarının çekilmesi ile renklerin soğurulmadan önce görüntüler elde edilmesi gerekir ve bu karşımıza bir dezavantaj olarak çıkmaktadır. Çünkü fotoğraflarda sınırlı bir alanı fotoğraf karesi içerisine alınmaktadır. (Van Damme, 2015: 19). Objeye yakın olarak çekim yapmak elde edilecek fotoğraf sayısını arttırmakla beraber modelleme ve belgeleme işlemlerinin süresinin uzamasına, gerekli olan ekipman ve donanım özelliklerinin artmasına ve maliyetin yükselmesine neden olmaktadır.



Figür 9: Farklı derinliklere göre renklerin kaybolması, ışığın emilimi (Van Damme, 2015: 19).

Herhangi bir çalışmada elde edilen görüntülerin renk, netlik vb. sorunlarını gidermek, üç boyutlu (3B) modellemeyi gerçekleştirebilmek için Adobe Photoshop, Lightroom gibi yazılımlar aracılığı ile işlemler yapılmaktadır. Renk düzeltmesi, kontrast, beyaz dengesi, gölgeler ve açık tonları azaltma gibi çeşitli işlemler yapıldığı bilinmektedir (Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 4). Bunun nedeni görüntüleri daha net ve asıl renkleri ile işleyebilmektir.

2.2.3. Sınırlı Görüş

Denizlerin sahip olduğu sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerleri ile birlikte ışığı geçirme, belli miktardaki su içerisinde yer alan partiküllerin ve planktonların miktarı sualtındaki görüşü etkilemektedir. Kamera lensine gelecek olan ışığı etkileyen bu faktörler yüzünden bir bölgede yakın çekim veya çok sayıda fotoğraf çekimi yapılmasına neden olmaktadır. Görüşün düşmesi sınırlı bir alanın çekilmesiyle sonuçlanır (Van Damme, 2015: 20). Bu da yapılacak olan belgeleme ve modelleme işlemlerinin süresinin uzamasına neden olmaktadır.

Ayrıca daha derinlere inildikçe ışığın varlığının azalması, kamera ve nesne arasındaki yatay mesafe ile derinlik görünen yüzeyin rengini ve kontrastını belirlemektedir. Elektromanyetik Spektrum'da yer alan renkler derinlik arttıkça soğurulmasının artması sonucu su altında kaybolmaya başlar. Daha düşük enerjili olan kırmızı renk tonları yerini derinlerde önce yeşil sonra mavi renk tonlarına bıraktığı görüntüler elde edilmektedir. Görüşün kötü olduğu bazı bölgelerde Fotogrametri çalışmaları yapılamamaktadır. Bu yüzden su altında ışık ve buna bağlı olarak görüşün oldukça önemli olduğu görülmektedir. Sualtında ışığın görünürlüğü ve zayıflaması derinlere gittikçe artmasıyla birlikte kamera ve obje arasındaki mesafe ile birlikte objenin rengini ve kontrastını belirlediği görülmektedir (McCarthy & Benjamin, 2014: 101-102).

2.2.4. Diğer Faktörler

Yukarıda bahsedilen ve birbiri ile ilişkili olan ışıkla ilgili 3 ana faktörle birlikte Fotogrametri çalışmalarını etkileyen; rüzgâr, akıntı ve dalgalar, arazi ve arazinin yapısı, ışığın ortamda az olması ve buna bağlı sorunlar, deniz suyu içerisinde yer alan partiküller ve deniz suyunun yoğunluğunu belirleyen tuzluluk, sıcaklık ve basınç değerleri olduğu görülmektedir.

Belgeleme çalışmasının yapılacağı yerde var olan akıntı ve dalgalar, dalgıçlar, gemi ve kullanılabilecek ROV-AUV gibi cihazlara zorluk çıkarmakta ve yapılacak olan işlemin gerçekleştirilmesine engel olmaktadır. Ayrıca akıntı ve dalgalardan ötürü elde edilebilecek görüntü verilerinin kalitesi düşmekte ve bulanık görüntülerin elde edilmesine neden olmaktadır. Sualtı belgeleme çalışması yapılacak alanın topografik yapısı da kullanılabilecek cihazların seçiminde etki yaratmaktadır. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında görüntüleme, belgeleme ve modelleme çalışmalarında kullanılacak yöntem, o bölgede etkin olan faktörler göz önüne alınarak seçilmelidir. Örneğin; Taşlık ve sığ alanlarda yan taramalı sonar, AUV veya ROV gibi cihazların kullanımı görüntüleme, belgeleme veya modelleme için uygun bir seçenek değildir (Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 2). Bunun yerine Total Station kullanımı belgeleme için verilerin elde edilmesinde daha doğru bir seçim olacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

METOTLAR, YAZILIM ve VERİ İŞLEME

3.1. Sualtı Fotogrametrisinde Kullanılan Metotlar

Son yıllardaki teknolojilerde yaşanan gelişmeler yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Su altı fotoğraf kameraları ile elde edilen görüntüler açık kaynaklı veya ücretli yazılımlarda işlenmektedir. Bu görüntülerin başarılı bir şekilde işlenmesi için temiz ve düzgün renkli olması, doğru fotoğraf makinesi ve ekipmanların seçimi ile olmaktadır. Fotoğraf karelerini elde etmede çevresel faktörlerin etkisi olduğu kadar odak uzaklığı, ISO¹⁹ ayarı, kamera lensi gibi etkenlerde bulunmaktadır. Herhangi bir türdeki kamera ile gerçekleştirilebilen sualtı fotogrametrisinde daha hassas poz kontrolü ve büyük sensörlere sahip daha profesyonel kameraların tercih edilmesi söz konusudur²⁰. Bu yüzden de DLSRs (Digital Single Lens Reflex cameras – Sayısal (Dijital) Tek Mercek Yansımali kameralar) önerildiği görülmektedir (Yamafune, 2016: 10). Sualtı Fotogrametrisinde çeşitli ekipmanlarla birlikte büyük çoğunlukla DLSRs kameralardan veriler elde edilmekte ve belgeleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Su altında yer alan arkeolojik alanların bulunduğu çevresel koşullara bağlı olarak belgeleme işleminde birçok farklı fotogrametri yöntemi tercih edilebilir olsa da uygun olan yöntemi seçmenin zor olduğu görülmektedir (Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 2). Bu yüzden en iyi sonucu elde edebilmek için yöntem koşullara göre seçilmelidir. En çok tercih edilen Direct Survey Method (DSM)'dur. Bu yöntem için yerel bir koordinat ağı oluşturmak gereklidir.

Özellikle günümüzde birçok yazılım, tanımlanmış bir koordinat sistemine ait verileri içermektedir. Çünkü su kütlesi, radyo dalgalarını engellemekte ve söz konusu bu radyo dalgalarını saçması sonucu su altında GPS (Küresel Konumlama Sistemi/Global Positioning System) çalışmamaktadır. Radyo dalgaları kullanarak çalışan Radar sistemleri yerine de sonar sistemlerinin tercih edilmesi bu bağlamda bir örnek oluşturmaktadır. Ancak yaşanan son gelişmelere göre akustik sistemlerden yararlanarak geliştirilen, GPS ile aynı işlevi görecektir şekilde tasarlanan bir sistemin varlığı söz konusudur. Şimdilik çok fazla enerji tüketen bu sistem, henüz günlük kullanım şartlarına uygun olmasa da gelecek vadetmektedir²¹. Bir koordinat sisteminin varlığı yüzey alanı ve hacim ölçümlerine izin vermesiyle birlikte 3B'lu model üretimi ile doğru ölçeklendirilme yapılmasını sağlamaktadır. Bununla beraber coğrafi referanslı olması sağlanan model, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarına aktarılabilir (Agisoft LLC, 2019: 58). GPS gibi bir sistemden yararlanılamadığı için, ölçümlerin yapılarak

¹⁹ Fotoğraf makinesinin ışığa duyarlılık düzeyi

²⁰ Daha ayrıntılı bilgi için bakınız: Yamafune, 2016: 8-19.

²¹ Daha fazla bilgi için; <https://news.mit.edu/2020/underwater-gps-navigation-1102>.

verilerin elde edilebilmesi ve işlenebilmesi süreci belgeleme çalışmalarında Yerel Koordinat Ağı'nın kurulmasıyla sağlanmakta, Sualtı Fotogrametrisi çalışmalarında ilk yapılması gereken aşamadır. Yerel Koordinat Ağı'nın kurulması 1:1 ölçekli coğrafi referanslı bir modelleme için gereklidir. Çünkü; modellemenin ölçeği ve oluşabilecek bozulmaların düzeltilmesi veya önlenmesi için coğrafi referanslı alan planı oluşturulmaktadır. Yerel koordinat ağı kurulmasının bize kazandırdığı avantajlar vardır ve bunlardan birisi de verilerin miktarı ve kalitesini üst düzeye çıkarmaktadır. Bahsi geçen yerel koordinat ağının kurulumuyla birlikte alanın çizimleri, planları, alanda bulunan eserlerin veya gemiye ait parçaların modellemesi ve ölçümleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri içeren arkeolojik veri tabanları oluşturulması gibi birçok alternatifi bize sunması ise diğer avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır (Yamafune, 2016: 43). Ayrıca Yerel koordinat ağının kurulmasıyla her kazı döneminde veri değişikliği tespiti için ölçüler tekrar alınabilir. Bu sayede alanda gerçekleşmiş olan değişiklikler de gözlenebilir.

Yerel Koordinat Ağı kurulurken alanda belirlenen yerlere hazırlanan belirli sayıdaki (genelde 10) veri noktası (datum) kurulur. Bu kurulumu yaparken çiviler veya kancalardan yararlanırken, mylar kâğıdı veya benzeri bir materyal üzerine hazırlanmış 1'den 10'a kadar sayılar veya özel işaretler olan kodlanmış hedefler yerleştirilir. Bu sayı alanın büyüklüğüne göre artar. Çünkü alandan alınacak ölçüler ile oluşturulacak koordinat ağının doğruluğunu artırır. Bu veri noktaları aynı düzlemde veya farklı düzlemde olabilir. Veri noktalarının derinliği bu durumu değiştirmektedir. Her bir veri noktasından diğerine mesafeler ölçülür ve veriler elde edilir. Bu işlemde doğruluğu arttırmak için birinci noktadan ikinciye ve ikinci noktadan birinciye olacak şekilde ölçümler alınmaktadır. Elde edilen büyük miktardaki veri bilgisayar destekli yazılımları (CAD) ile işlenmekte ve herhangi bir hata tespiti yapılması durumunda giderilebilmektedir. DSM (Direct Survey Method) için temeli oluşturan Yerel Koordinat Ağı, bize sağladığı avantajlardan ötürü oldukça gerekli olduğu görülmektedir (Rule, 1989: 157-162; Yamafune, 2016: 20-31)

Belgelemenin gerçekleştirilebilmesi için verileri alandan toplamamıza olanak sağlayan yöntemler vardır. Bu yöntemler ve cihazlar güncel olarak günümüzde sualtı fotogrametrisi için kullanılmaktadır. Tatlı suda bu cihazların etkisi tuzlu suya göre daha fazla olması kuvvetle muhtemeldir. Fotogrametri için gerekli veriyi elde etmede kullanılan cihaz ve yöntemlerin bazıları, Kaya vd. (2019) ve Massot-Campos vd., (2015) yayınladığı makale de güçlü ve zayıf kaldığı yönleri ile karşılaştırılmıştır (Massot-Campos vd., 2015: 31548; Kaya vd., 2019: 6). Bu tez içerisinde güncel kullanılan yöntemlerden ve cihazlardan bahsedilmiş ve karşılaştırılması aşağıdaki tabloda (**Tablo 1**) verilmiştir:

Tablo 1: Sualtında verilerin elde edilebilmesi için kullanılabilecek yöntemler ile cihazların, güçlü ve zayıf kaldığı yanları gösteren tablo (Massot-Campos vd., 2015: 31548, Table 9; Kaya vd., 2019: 6, Tablo1;)

Veri Elde Etme Yöntemi	Güçlü Olduğu Yanlar	Zayıf Olduğu Yanlar
MBS - MultiBeam Sonar (Çok Işınlı Deniz Radarı) ve SBS – Single Beam Sonar (Tek Işınlı Deniz Radarı)	Kolay kullanılabilir, Geniş kapsama ve geniş görüş alanına sahip, Su bulanıklığından etkilenmez.	Pahalı, Düşük çözünürlüklü ve yankı yapar (SBS). Ölçümler için en yakın mesafe değerleri olması gerekenden yüksektir (MBS).
SSS - Side Scan Sonar (Yan Taramalı Sonar)	Kaliteli veri elde etme olasılığı yüksek, Geniş görüş alanı ve su bulanıklığından etkilenmez.	Pahalı, Sabit hızla veri toplanmalı ve boyutları bilinmez.
IS - Imaging Sonar (Görüntü Deniz Radarı)	Suyun bulanıklığından etkilenmez ve Görüş mesafesi ortalamadan geniş kadardır.	Pahalı ve boyutları bilinmez.
LiDAR - Light Detection and Ranging	İlk 15 metre mesafe ve güvenilir veri konusunda kısıtlıdır ancak günümüzde üzerinde çalışmalar devam etmektedir.	Su altına (henüz) uygun değildir.
Total Station	Oldukça yüksek kalitede ölçüm için veriler elde edilmektedir	Pahalı ve kıyı çalışmalarında kullanılabilir. Su altına henüz uygun değildir.
LLS - Laser Line Scanning (Lazer yönünde tarama)	Orta kalitede veri elde etme oranı, ortalama görüş mesafesi vardır.	Pahalı ve güvenilir veri konusunda kısıtlıdır.
SfM - Structure from Motion (Hareketli Nesnelerden Görüntü Oluşturma)	Kullanışlı ve ekonomik, yakın mesafede çalışır ve yüksek doğruluk oranı sağlar.	Seyrek veriler elde edilir, Hesap yükü fazladır. Dokusu olan nesnelerde çalışmakta ve ölçeği bilinmez.
SV - Stereo Vision (Çift Görüş)	Kullanışlı ve ekonomik, yakın mesafede çalışır ve yüksek doğruluk oranı sağlar.	Seyrek veriler elde edilir, Hesap yükü fazladır. Verileri düşük doğruluk içerir.
PhS - Photometric Studio (Işığı Ölçen Ortam)	Kullanışlı ve ekonomik, yakın mesafede çalışır.	Sabit bir konumda çalışır ve düzey yüzeyler için kısıtlı çalışmaktadır.
VW - SL	Yüksek doğruluklu veri elde eder ve yakın mesafede çalışır.	Hesap yükü fazladır. Gölge ve ışık emilimi olan yerlerde veri kaybı ve sabit bir konumda çalışması gerekmektedir.
CW - SL - Continuous Wave Structured Light	Yüksek doğruluklu veri elde eder ve yakın mesafede çalışır.	Hesap yükü fazladır. Gölge ve ışık emilimi olan yerlerde veri kaybı olur. Lazer kaynaklı olduğunda güvenilirlik konusunda sınırlanır.
DSM - Direct Survey Method	Yüksek doğruluk oranı, hızlı ve objelerin olduğu yerde olduğu şekilde belirlenmesidir. Yerel Koordinat Ağı oluşturur.	Birçok ölçü ve zaman gerektirmektedir. Dalgıçlara bağımlıdır. Veri noktaları (datum) gerektirmektedir.
Scale Bar (Eşel)	Yakın mesafe, doğruluk oranı yüksektir. Hızlı ve basittir.	Objeye etrafında eşel gerektirmektedir. Zaman gerektirmektedir.
Enclosure	Yakın mesafe, doğruluk oranı yüksektir. Hızlı ve basittir.	Bilinen 4 nokta içerisinde Objeye olmalıdır. Karelaj sistemi gerektirmektedir. Tek obje üzerinedir.

Tri-Closure	Doğruluk oranı yüksektir. Hızlı, esnek ve basittir. Yerel Koordinat Ağı oluşturur.	Fotogrametri ve CAD bilgisi gerektirir.
ROV - Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı (Remotely Operated Vehicle)	Görüntüleme ve Haritalama’da kullanılır. Derin su altı çalışmaları için uygundur.	Operatör yardımıyla veriler elde edilebilir, GPS ve benzeri cihazlar olmadan konumunun tespit edilmesi zordur. Füzyon sistemler ile birlikte kullanılır. Kablolu bir sistemdir.
AUV - Otonom Su Altı Aracı (Autonomous Underwater Vehicle)	Görüntüleme ve Haritalama da kullanılır. Derin su altı çalışmaları için uygundur. Operatör gerektirmez. Belirli bir rotayı takip eder. Kablosuz bir sistemdir.	GPS ve benzeri cihazlar olmadan konumunun tespit edilmesi zordur. Füzyon sistemler ile birlikte kullanılır.

Bu tablodan hareketle Total station ve LiDAR gibi cihazların henüz su altına uygun olmadığı görülmektedir.

3.1.1. DSM (Direct Survey Method) - Trilaterasyon

Direct Survey Method (DSM), 1980’li yıllarda su altı ile ilgili disiplinlerde belgelemede yaşanan zorluklara bir çözüm olarak trilaterasyon yönteminden geliştirilmiş (Rule, 1989: 157) ve bu tarihten itibaren sürekli kullanımı tercih edilmiştir. Deneysel olarak 1960’lı yıllarda ilk çalışmaların yapıldığı bilinmektedir. Teknolojinin ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarının gelişimi de kolaylıklar sağlamıştır. Sınırlı görüş mesafesi, sualtı çevre koşullarına karşı su altında kalmış arkeolojik alanların ve batıkların 3B’lu rekonstrüksiyonu için hızlı, ölçülebilir ve doğru sonuçların elde edilmesini sağlayan ve toplanan bu verilerin işlenmesi için CAD yazılımlarının kullanılması bu yöntem kapsamındadır. DSM metodu; veri noktalarından (datum) nesneye olan direkt mesafenin ölçülmesidir (Rule, 1989: 157). Bu noktada trilaterasyon’dan ayrılmaktadır.

Kartezyen koordinatları bilinen veri noktalarından (datum) şeritler ile mesafelerin ölçüldüğü bu yöntemde, Yer Kontrol Noktaları (GCPs – Ground Control Point) ile Referans noktalarının koordinat bilgilerini elde edebilmek için öncelikle bir kontrol ağının kurulması gerekli kılınmaktadır. Kontrol ağı kurulduktan sonra referans noktalarının eklenmesi ile birbirine yakın 4 referans noktasından ölçümler yapılır ve yerel bir koordinat ağı oluşturulur. Bu sayede XYZ koordinatları elde edilebilir. Ayrıca kurulan bu ağ içerisinde DSM metodu sayesinde herhangi bir nesnenin bulunduğu konumun ve ölçümlerinin tespiti için en az 3 veri noktası (genelde 4 nokta) olmak üzere mesafeler ölçüldüğü görülmektedir (Rule, 1989: 157-162; Yamafune, 2016: 30-33). Trilaterasyon yöntemi ile oldukça benzer olan bu yöntem ilk olarak Bomford’un 1971 yılındaki yayınında geçmekte ve bu yayında Trilaterasyon terimi: açıkları

kullanan yöntemlerden mesafeleri kullanan yöntemleri ayırmak için kullanılmaktadır. (Rule, 1989: 157).

DSM, Yerel koordinat ağından elde edilen veriler ile, 1:1 ölçekli ve coğrafi referanslı 3B modellemelerin yapılmasına olanak sağlayan bir yöntemdir. Alana bu noktaların yerleştirilebilmesi için dalış yapılması gerekmektedir. Yerel koordinat ağı oluştururken kullanılan kontrol noktalarının dışında kodlanmış hedeflerin de oluşturularak kullanıldığı görülmektedir (Tousant ve Fai, 2019: 1166).

Yerel koordinat ağının oluşturulmasının sebebi: doğru ölçülerin alınmasıyla birlikte oluşabilecek sapmaların önüne geçmek, coğrafi referanslı ve 1:1 ölçekli, fotogrametrik modellemeler oluşturabilmek, ortofoto üretimi ve oluşturulan bu ağ içerisinde yer alan nesneleri bulunduğu konuma göre modellemede olduğu yere yerleştirmemize olanak sağlar. Üretilen coğrafi referanslı modellemelerin sayesinde (CBS) Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri tabanları oluşturulmaktadır. Böylelikle gerçekleştirilebilecek çeşitli çalışmaların (analizler, SYM, vb.) da önünü açmaktadır.

Yukarıda bahsedilen DSM'in avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Çok fazla sayıda ölçünün alınmasının gerekmesi, ölçülerin elde edilebilmesi için yapılan dalgıç ve dalış sayısı yüksektir. Dalışlara bağlı olarak harcanan zaman ve ekipmanın maliyeti de bu dezavantajlar içerisinde yer almaktadır. Tüm bu olumsuzluklara rağmen başarılı bir şekilde kurulan koordinat ağı ile DSM metodu aracılığıyla verilerin elde edilmesi ve modellemenin gerçekleştirilmesi bu dezavantajları en aza indirmektedir. Günümüzde eşeller ile birlikte bu yöntem uygulanmaktadır.

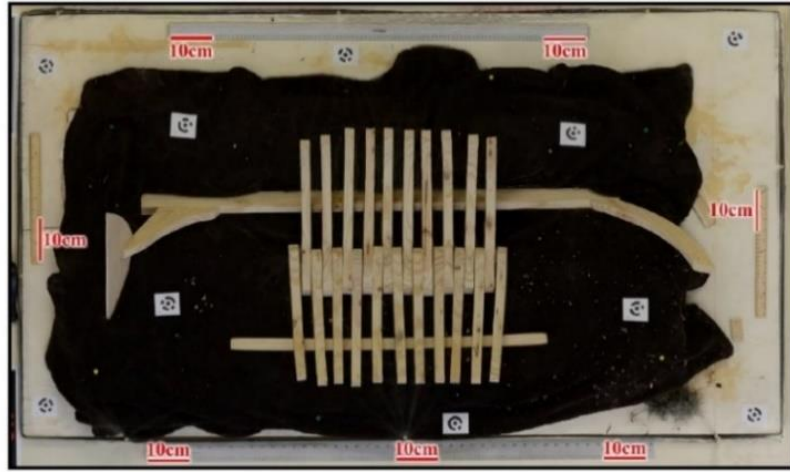
3.1.2. Eşel (Scale Bar)

DSM metodu dışında kullanılan bu yöntemde, bilinen mesafelerin eşel yardımıyla çekimleri yapılır ve bu yöntemden elde edilen ölçümler sonucunda dijital eşeller oluşturularak modelleme gerçekleştirilmektedir. Kısa soluklu, yüzey araştırmaları için daha uygun olan bu metodun isabetli ölçüm oranları DSM metoduna göre daha yüksek olduğu yapılmış olan deneyler sonucunda görülmektedir (Yamafune, 2017a: 526). Modelleme için çekilen fotoğraflarda eşelin kullanılması, ölçeğin hesaplanması, doğruluğu ve tutarlılığı için zorunludur.

Photoscan yazılımı üzerinde sanal eşelleri kullanarak bilinen uzaklıklardan yararlanıp, DSM'den toplanan yerel koordinat verilerini girmek yerine kontrol noktalarını ve yerel koordinat sistemini kurmak zaman alabilir. Modellemedeki sapmalar ve bozulmalar, sanal eşeller kullanılarak düzeltilebilir. Arkeolojik alanlarda çekilen fotoğraflarda eşel, sıklıkla yer

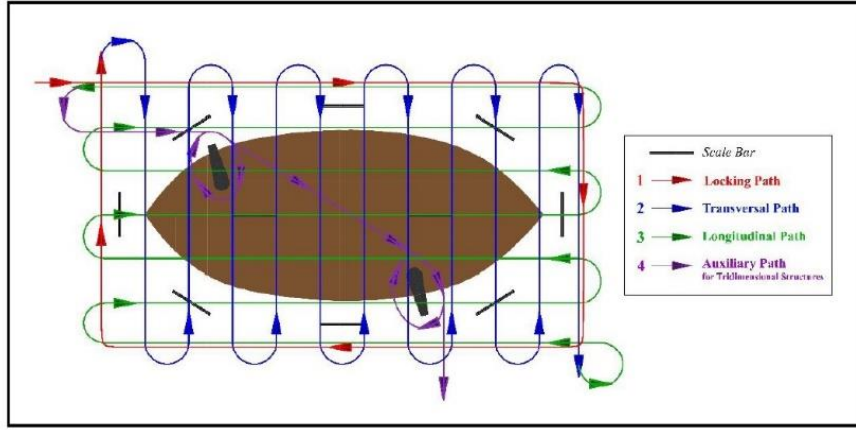
alan ve kullanılan bir araçtır. Arkeolojik fotoğraflarda eşelin kullanımı ile doğru ölçek bilgileri sağlanmakta ve bu fotogrametride kullanıldığında eşeller, modelin bozulmasını ve ölçeğinin düzeltilmesi ve ölçümleri kontrol etmek için kullanılmaktadır (Yamafune, 2016: 37). DSM metodundaki bozukluk, boyut ve hataların düzeltilmesi eşellerle sağlanabilmektedir.

Scale Bar metodunda eşeller, fotoğrafı çekilecek alanın etrafına yerleştirilir ve fotoğraf çekimi yapılır (Fig.10). Daha sonra Photoscan/Metashape yazılımı içerisinde bu eşeller üzerinde işaretleyiciler (marker) oluşturulur, düzenlemeler yapılır ve modelleme için tekrar yazılımdan yararlanarak ölçekli modellemeler oluşturulmaktadır.



Figür 10: Scale Bar metodu örneği (Yamafune, 2017a: 527, Fig. 2).

DSM (Direct Survey Method) veya Eşel (Scale Bar) metodu kullanıldığında, verilerin sağlıklı bir şekilde toplanabilmesi için görüntülerin elde edileceği bir rotanın oluşturulması gerekmektedir. Bunun nedeni ise minimum seviyede bozulma/sapma olmasını, iyi ve isabetli sonuçların elde edilmesini sağlamaktır. “Flight Path” olarak geçen bu terim anahtar bir rol oynamaktadır. Fotoğrafların çekilmesi için planlanan ve izlenen yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Çekilen fotoğrafların hizalanması işleminde kaliteli fotoğraf çekimi, daha yüksek oran ve ölçülerin doğruluğu için önemlidir. Fotogrametrik modellemenin en önemli aşaması fotoğraf hizalamasıdır. İlk olarak fotoğraflar dik açı ile, alanın üstten görünüşünü yakalamak için çekilmektedir. Bu işlemde bittikten sonra yapıların dikey yüzeylerini yakalamak için fotoğraf makinesine eğik açılar verilerek ek fotoğraflar çekilir (Yamafune, 2017a: 532). Çalışmanın öncesinde özen göstererek alana göre bir “Flight Path” planlamasının yapılması işlemleri kolaylaştıracaktır. Aşağıda kullanılmış olan bir flight path örneğini inceleyebiliriz (Fig. 11) (Yamafune, 2017a: 531-532). Arazi koşullarına göre bu izlenecek yol (flight path) değişebilmektedir.



Figür 11: Flight Path (Yamafune, 2017a: 533, Fig. 4).

DSM ve Scale bar yöntemleri dışında son yıllarda ortaya konmuş ve geliştirilmiş olan birkaç yöntem daha vardır ve bunlar çeşitli koşullar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu yöntemler; Enclosure, Triclosure ve Total station olmak üzere Dr. Yamafune Kotaro, Dr. Rodrigo Torres ve Dr. Luis Filipe Viera de Castro tarafından gelişen teknolojilerle ve geleneksel yöntemlerin birleştirilmesiyle bir metodoloji olarak geliştirildiği görülmektedir (Yamafune, 2016: 2). Total station'ın sualtı fotogrametrisinde kullanımı kıyısız çalışmalarda, dar ve sığ alanlarda kullanılmaktadır. Aşağıda anlatılacak bu yöntemlerden total station kıyısız arkeoloji ve uygun alanlarda kullanılmaktadır.

3.1.3. Enclosure

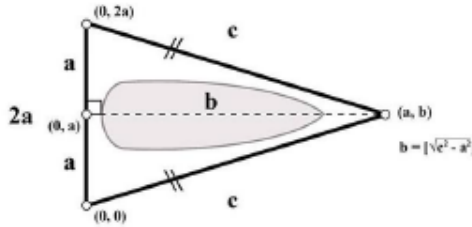
Bu yöntemde önceden ölçümleri belirlenmiş, kontrol edilen uzunluklarda kesilen hatlar kullanılarak bir arkeolojik alanın kapatılması fikrine dayanır; bu nedenle, dört nokta arasındaki mesafeler üzerinden herhangi bir ölçüm yapılmadan veriler bilinmektedir. Bu mesafelerin kullanımı ile fotogrametrik modelin olası hataları düzeltilebilir. 4 noktanın kartezyen koordinatları, trigonometrik denklemleri, CAD yazılımlarındaki araçların kullanılmasıyla hesaplanmaktadır. Bu yöntemde en önemli şey, açıların 90 derece olmasıdır (Yamafune, 2016: 35-36). Temelde Pisagor Teoremine dayanan bu yöntemi alanda uygulayabilmek için, örneğin; 5x5 karalejlerin sualtında oluşturulması ve bu karalej içerisinde gerekli fotoğrafların çekilmesi ile bu yöntemden faydalanılabilir²².

3.1.4. Tri-Closure

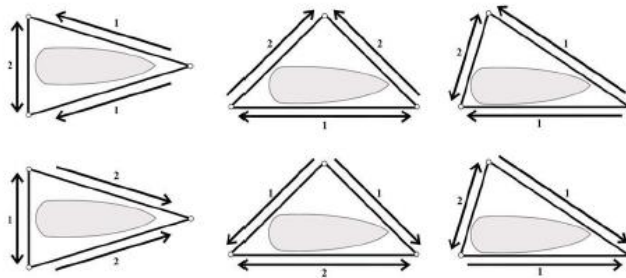
Verileri elde edebilmek için geliştirilen bu yöntem, 3B'lu fotogrametrik modelleri bilimsel faaliyetlerde kullanabilmek için yerel koordinat ağını kurmada, fotogrametrik

²² Daha fazla bilgi için bakınız: Yamafune, (2016).

modellemelerin 1:1 ölçekli ve coğrafi referanslı olmasını sağlamaktadır. Doğrudan ölçüm almayı sağladığı görülmektedir. DSM (Direct Survey Method) ile yerel koordinat ağı sistemini oluşturmak için kullanılması birkaç günlük dalış, bolca ölçü alma, dip süresi ve maliyetli olması gibi nedenlerle, büyük ve derin su alanlarından veri elde edilmesinde sorun oluşturabilmektedir. Society for Historical Archaeology Annual Conference’da gerçekleştirilen sunumda, Dr. Kotaro Yamafune, Daniel Bishop ve Carolyn Kennedy tarafından yukarıda bahsedilen soruna bir çözüm olması için yeni bir yöntemin geliştirildiği görülmektedir²³. Bu yöntemde üç nokta (kontrol) ile ikizkenar bir üçgen oluşturulur ve bu (kontrol) noktalarını Pisagor Teoremi’nden (Fig. 12) faydalanılarak hesaplandığı görülmekte ve bir yerel koordinat ağı da bu koşullara göre oluşturulmaktadır (Yamafune vd., 2017b: 12-26) (Fig 13). Bir kez fotogrametrik kayıt gerçekleştirildikten sonra alan içerisindeki herhangi bir noktanın koordinatları otomatik olarak oluşturulabilmektedir. Bir veya iki dalış ile kurulabildiğinden dolayı oldukça avantajlı olduğu görülmektedir (Yamafune vd., 2017b: 24-25). Hızlı ve basit olması, su altında verilerin toplanması için daha az zaman gerektirmesi, esnek ve doğruluğunun yüksek olması, bu yöntemin avantajları içerisinde yer almaktadır. Fotogrametrik kayıt, modelleme ve haritalama için bu yöntemler, alandaki şartlar göz önünde bulundurularak seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Oldukça yeni ve basit olan bu yöntemi çalışmalarda kullanmak mümkündür.



Figür 12: Pisagor Teoremi ve Tri-Closure (Yamafune vd., 2017b: 16).



Figür 13: Tri-Closure Yöntemi (Yamafune vd., 2017b: 16).

²³ Yamafune, K., Bishop, D. ve Kennedy, C. (2017b). *Tri-Closure: a new method to create a local coordinate system for underwater photogrammetric recording*. Erişim adresi: https://www.academia.edu/30284760/Tri_Closure_A_New_Method_to_Create_A_Local_Coordinate_System_for_Underwater_Photogrammetric_Recording (erişim tarihi: 14.03.2020).

3.1.5. Total Station

Bir başka yöntem ise karasal fotogrametri ve kıyı çalışmalarında oldukça tercih edilen Total Station'dır. Elektronik Takeometre olarak da bilinen Total Station²⁴ aç, uzunluk, yükseklik ölçümleri, kartezyen koordinatları (x,y,z), kot seviyesinin hesaplanmasında kullanılan cihazdır²⁵²⁶ (Green, 2004: 42). Ölçümleri lazer veya kızılötesi (infrared) ışınları gönderir, reflektörden yansıyan ışın cihaz içerisindeki yazılım aracılığıyla ışığın gidip gelme hızından mesafe hesaplaması yapmaktadır. Cihaz mm hassasiyete sahiptir ve birçok alanda (arkeoloji, restorasyon vb.) kullanılmaktadır. Genellikle karasal arkeolojik alanlarda ve kıyı arkeolojisi çalışmalarında kullanılan total station, yerel koordinatların elde edilmesini sağlayan etkili ve kolay bir araçtır. Bir dizi kontrol/referans noktasının koordinatı alınır ve bu noktalar CAD (Bilgisayar Destekli Yazılım – Computer Aided Design) ve CBS yazılımlarında işlenmektedir. Su altında total station kullanılamamaktadır (Yamafune, 2016: 38). Ancak tüm su altındaki eserler veya batıklar derinlerde değildir. Bu yüzden kıyı çalışmalarında veya kıyıya yakın sahalarda Total Station'ın kullanıldığı görülmektedir. Kıyı ve kıyıya yakın alanlara oldukça uygundur.

Kıyisal araştırmalarda coğrafi referanslama²⁷ için kullanılan Total Station çalışmalarına örnek olarak, B. Derenne, E. Nantet, G. Verly, ve M. Boone'un 2019 yılında yayınladıkları, "Complementarity Between In Situ Studies And Photogrammetry: Methodological Feedback From A Roman Shipwreck In Caesarea, Israel " adlı makale ve makalede verilen bilgiler doğrultusunda kıyıya kurulan total station'nın, 3 dalgıcın taşıdığı demir çubuktan faydalanarak gereken ölçüm ve koordinatların elde edildiği bir belgeleme çalışması sunulmuştur (Derenne vd., 2019: 78). Bu çalışma dışında daha birçok yayında Total Station'nın kullanıldığı görülmektedir (Diamanti vd., 2017; Reinfeld vd., 2018; Derenne vd., 2019; Abdelaziz ve Elsayed, 2019). Total station'dan elde edilen veriler ile Fotogrametri verileri birlikte kullanılmaktadır.

3.1.6. Sualtı Araçları (ROV – AUV)

Orta ve derin sularda görüntüleme ve belgeleme işlemlerinin dalgıçlar tarafından gerçekleştirilmesi oldukça zordur. İnsanın yaşadığı çevre koşullarından daha farklı olan su

²⁴ Elektronik transit teodolitin ve lazer mesafe ölçerin kombinasyonundan oluşan cihaz.

²⁵ Doğaelektronik, Total Station nedir ve ne işe yarar? (2020). Erişim adresi: <https://www.dogaelektronik.com.tr/blog/total-station-nedir-ve-ne-ise-yarar> (erişim tarihi: 30.10.2020).

²⁶ İnşaat Hesabı. (2020). Total Station Nedir? Erişim adresi: <https://insaathesabi.com/blog/total-station-nedir/> (erişim tarihi: 30.10.2020).

²⁷ Coğrafi bir veriyi seçilen bir koordinat sisteminde gerçek koordinatlarına oturtma işlemine denir.

altında, dalgıçların 60 metreden sonra karışım gazlar kullanarak dalması gerekmekte ve bunun için eğitim alması gerekmektedir. Ayrıca su altı hastalıklarına bağlı rahatsızlıklar ve dip süresi bir risk barındırmaktadır. Bu yüzden su altında gerçekleştirilen çalışmalarda 3B modelleme ve rekonstrüksiyon için gerekli olan veriler, insan doğasına yabancı olan bir ortamda son 20 yıl içerisinde çeşitli araçlar veya robotlar yardımı ile elde edilmektedir. Gerekli ölçümler ve görüntüleme faaliyetleri için İnsansız Su Altı Araçları (İSAA) geliştirilmiştir (Canlı vd., 2015: 45-49). Bu süreç içerisinde insansız su altı araçları veya robotları, görüntüleme ve belgeleme çalışmalarında yaşanan gelişmelerle birlikte oldukça önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Bu cihazlar bir operatör aracılığıyla veya operatöre ihtiyaç duymadan kontrol edilebilen, maliyeti düşük, güvenli ve etkili bir yöntem talebini destekleyerek çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir (Costa vd., 2018: 275, Scaradozzi vd., 2013: 1; Nornes vd., 2015: 206-211). Su altı araçları, fotogrametri ile üç boyutlu (3B) sualtı rekonstrüksiyon teknikleri arasındaki gelişimde, deniz tabanını veya arkeolojik alanların araştırılmasında, görüntülenmesi ve haritalandırılmasında tercih edilmektedir. Daha çok derin sularda bulunan batıkları belgelemede tercih edilen bu cihazlar veri toplama, filtreleme ve üç boyutlu (3B) modelleme/rekonstrüksiyonunu düşük maliyetli sistemlerin gelişmesiyle birlikte dalgıçları denklemden çıkarmaktadır. Ayrıca birçok zorluğa karşı da (derinlik, dip süresi, su altı hastalıkları, düşük oksijen seviyesi ve sıcaklık, vb.) bir çözüm olmaktadır (Nornes vd., 2015: 206, Drap vd., 2015: 2).

AUV-ROV-UUV gibi isimlerle anılan sualtı cihazlarının, kültürel ve doğal mirasın görüntülenmesinde, arkeolojik alanların, batıklar ve batıklara ait gemi parçalarıyla çeşitli eserlerin ve sualtı ortamlarının haritalandırılmasında kullanıldığı görülmektedir (Costa vd., 2018: 280). Bu sualtı cihazları arasında çeşitli farklar bulunmaktadır. ROV-Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı (Remotely Operated Vehicle); bir pilot tarafından kontrol edilen kablolu bir sistemdir. UUV (unmanned underwater vehicle) olarak geçen tanımı Amerika donanması tarafından bir başka robot/sualtı aracı; AUV-Otonom Su Altı Aracı (Autonomous Underwater Vehicle) ile eş anlamlı olarak kullanılmakta ancak endüstrinin genelinde bu durumun böyle olmadığı görülmektedir. AUV; bir pilot veya operatöre ihtiyaç duymadan belirlenmiş bir rotada hareket edecek şekilde tasarlanmış, kendi güç üniteleri bulunan, bağımsız hareket edebilen görüntüleme ve belgeleme işlemini gerçekleştiren kablolu bir sistemdir (Christ ve Wernli, 2013: 65; Canlı vd., 2015: 44). Ayrıca sualtı cihazları sayesinde dip süresi ve derinlik gibi iki büyük sorunun ortadan kalktığı görülmektedir. Görüntüler, videolardan veya zaman ayarlı çekimlerden elde edilebilmektedir (Teague ve Scott, 2017: 2). Su altı araçları ile yapılan Fotogrametride de çeşitli zorluklar yaşanmaktadır. Görüntüleri etkileyen düşük seviyeli ışık,

deniz akıntıları ve GPS'in olmamasından dolayı coğrafi referanssız modellerin üretilmesi karşılaşılan zorluklar içerisinde. Bu alanda yaşanan teknolojik gelişmeler genelde başka bir alanda (askeri, petrol ve gaz araştırmaları, vb.) veya arkeolojik araştırmalar için geliştirildiği görülmektedir (Scaradozzi vd., 2013: 2).

Bu cihazlar ile gerçekleştirilen görüntüleme ve belgelendirme çalışmalarının, 3B rekonstrüksiyon için, Fotogrametri ve çeşitli sistemleri bir arada kullanmakla birlikte, kendine özgü çeşitli zorlukları da beraberinde getirdiği görülmektedir. Bu zorluklar; cihazların sahip olduğu kamera sistem özelliklerinin düşük olması, düşük ışık seviyesi etkisiyle düşük çözünürlüklü görsellerin elde edilmesi, akıntıların etkisi ve su altında GPS'in çalışmaması sorunu yüzünden referans noktaları olmadan coğrafi referanslı modellemelerin yapılamamasıdır. Bu zorlukları çözebilmek için çeşitli çalışmaların yürütülmesi ve sürekli gelişen akustik konumlandırma sistemleriyle konumlandırma mümkün olabilecektir (Teague ve Scott, 2017: 5). Sualtı akustik konumlandırma sistemi olan “Short Baseline System” (SBL)²⁸; üç veya daha fazla sonarın bir kablo aracılığıyla merkez bir kontrol kutusuna bağlanması ile ROV üzerine kurulan bir Yer Belirleyici (locator) sayesinde takibi sağlamakta ve aynı zamanda GPS pozisyonunu vermektedir. GPS ve IMU^{29,30}, nun birleştirilmesiyle cihazın konumunun belirlendiği yapılmış olan çalışmalarda görülmektedir. Bu sistemin 1960'lı yılların başında ABD donanması kökenli olduğu, petrol ve gaz endüstrileri dışında kullanılmadığı bilinmektedir. Fotogrametri ve SBL'in birlikte kullanılması ile oldukça etkili bir tekniğin ortaya koyulduğu görülmektedir (Christ ve Wernli, 2013: 56-61; Scaradozzi vd., 2013: 4; Teague ve Scott, 2017: 3-5). Ayrıca Gawlik (2013) araştırma tezinde sualtı ölçümleri için kullanılan iki navigasyon sisteminin kullanıldığı, Uzun Anahat (Long Baseline – LBL) ve Ultra Kısa Anahat (Ultra Short Baseline – USBL) olarak öne sürmüştür (Gawlik, 2013: 24-25). Bir başka çözüm ise Dinamik Konumlandırma sistemi olarak karşımıza çıkan “Dynamic Positioning System” (DP) ile gemiden veya bottan, hareket halinde ya da sabit dururken görüntüleme ve belgeleme işlemleri yapılabilmektedir. (Gawlik, 2013: 26; Nornes vd., 2015: 207). Konumlandırma sistemlerinin temelinde yer alan akustik sonar sistemleri olduğu görülmektedir. Akustik Sonar sistemlerinden elde edilen Batimetri verileri ile fotogrametri verileri birlikte işlenerek coğrafi referanslı 3B rekonstrüksiyon, alan haritalandırılması da yapılmaktadır (Drap, 2012: 113; Eric vd., 2013: 282-285). Optik ve akustik veriyi birlikte kullanan bu sistemler; “füzyon sistemler” olarak karşımıza çıkmaktadır.

²⁸ Bir başka versiyonu USBL (Ultra Short Baseline System).

²⁹ Ana işlemciye gönderilen açısal hız ve doğrusal ivme verisini tek bir modülde toplayan elektronik bir birim.

³⁰ cbsakademi. (2016). IMU Nedir? Erişim adresi: <https://cbsakademi.ibb.istanbul/imu-nedir/> (erişim tarihi: 04.04.2021).

GPS'in oldukça önemli ve gereklidir. Çünkü alanın veya nesnelerin, GPS koordinatlarının bilinmesi, yazılım³¹ içerisinde yer alan fotoğraf hizalama (Align Photos) işlemini hızlandırmakta ve daha doğru sonuçların elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bu sistemlerin kullanımı kolay, kur ve çalıştır teknolojik araçları ile alanın araştırılması ve belgelenmesinde pratik olduğu görülmektedir. Bahsi geçen ROV ve AUV cihazları için operatöre yardımcı olabilecek rehber sistemler de geliştirilebilmektedir (Scaradozzi vd., 2013: 1-6).

AUV/ROV ile birlikte çoğunlukla kullanılan füzyon sistemleri (Sonar + Fotogrametri ve Lazer + Fotogrametri) özellikle iki büyük projede görülmektedir. Bu projelerden, VENUS projesi çeşitli veri toplama teknikleri ile batıkların incelenmesi, derin sualtı arkeolojik alanların sanal keşfini sağlamak, topluma ve arkeologlara sualtı deneyimini kazandırmak, arkeolojik alanların güvenli, uygun maliyetli ve eğitime yönelik çalışmaları sağlamak olduğu görülmektedir³²³³³⁴ (Drap vd., 2008: 419-427). Akustik konumlandırma sistemlerinden yararlanarak coğrafi referanslı harita veya geniş alanların iki boyutlu (2B) coğrafi rekonstrüksiyonunu AUV, ROV ve geliştirilmiş fotoğraf kamerasıyla elde etmek mümkündür. Üretilen harita veya rekonstrüksiyonlar gerçek zamanlı olarak CBS araçlarına uygun filtrelemeler ile üç boyutlu (3B) sanal rekonstrüksiyonlar eklenebilir. (Scaradozzi vd., 2013: 4). Sözü edilen diğer proje ise ARROWS projesidir. Bu projede ise arkeolojik faaliyetlerin maliyetini azaltmak için düşük maliyetli AUV teknolojilerinin uyarlanması ve geliştirilmesi üzerinedir. Proje kapsamında bir arkeoloğun gereksinimlerini tanımlamak, problemleri tespit etmek ve teknolojik çözümler sunmaktır. Bireysel teknolojileri testlerinin sonucunda ve kullanıcı gereksinimine göre karşılaştırılmaları yapılarak geliştirilmiştir. Akdeniz ve Baltık denizi olmak üzere iki alanda projede geliştirilmiş AUV'ların kullanıldığı görülmektedir³⁵ (Allotta et al, 2018: 1-8).

3.1.7. Diğer Yöntemler: Lazer Ölçekleyici, Lazer Tarayıcı ve LiDAR

Gelişen teknolojiler ile ilk olarak karasal alanlarda faaliyeti görülen, özellikle arkeoloji, restorasyon ve mimari disiplinlerinde kullanılan lazer tarayıcılar, su altında da kullanılmaya

³¹ Agisoft Metashape.

³² CORDIS. (2008). Virtual Exploration of Underwater Sites. Erişim adresi: <https://cordis.europa.eu/project/id/034924> (erişim adresi: 15.04. 2020).

³³ Archaeology Data Service/Digital Antiquity. (2009). Venus Project. Erişim adresi: https://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/VENUS_Toc (erişim adresi: 15.04. 2020).

³⁴ Archaeology Data Service. (2008). Venus: Virtual Exploration of The Underwater Sites. Erişim adresi: <https://archaeologydataservice.ac.uk/research/venus.xhtml> (erişim adresi: 15.04. 2020).

³⁵ Arrows. (2015). Archaeological Robot Systems For the World's Seas. Erişim adresi: <http://www.arrowsproject.eu/> (erişim adresi: 15.04. 2020).

başlanmıştır. Başlangıçta deneysel çalışmalar olmuştur. Daha önce bahsedilen füzyon sistemlerden birisi olan Fotogrametri ile Lazer sistemlerinden elde edilen veriler sayesinde 3B'lu rekonstrüksiyonlar gerçekleştirilmektedir. Lazer tarayıcılar ile gerçekleştirilen bu yöntemler ışık tabanlı olduğu için Fotogrametri'den farklıdır. Fotogrametri; optik tabanlıdır. Çünkü Fotogrametri'de 3B modelleme fotoğraflardaki perspektif ve derinlik verilerinden elde edilmekte iken lazer sistemlerinde en basit tanımıyla ışık ışınlarının gönderilmesi ve yansımından elde edilen verilerle oluşturulan nokta bulutundan modelleme gerçekleştirilmektedir. Fotogrametri ve lazer sistemlerinin verilerinin, füzyon edilerek kullanıldığı görülmektedir. (Davidde Petriaggi ve Ayala, 2015: 79-83).

Sualtı fotogrametrisi alanında yaşanan gelişmeler doğrultusunda daha ayrıntılı ve kesin üç boyutlu (3B) modellemeleri bilim insanları üretebilme yeteneğini elde etmiştir. Ayrıca üç boyutlu rekonstrüksiyon ve navigasyon füzyon stratejilerinin sistematik analizinin eksikliğini ele almaktadır (Istanc vd., 2019: 1-33). Bu gelişmelere; optik fotoğraf makineleri ve ekipmanlarda yaşanan yenilikler, bilgisayar yazılımlarında (CAD) yaşanan yenilikler, maliyetin düşmesi ve ulaşılabilirliğin artması ile birlikte bilimsel amaçlara yönelik üretimlerin sayılabilir. Gelişmelerin oldukça fayda sağladığı bu alanda yapılmış olan çalışmalar literatürde görülmektedir (Davidde Petriaggi ve Ayala (2015), Yamafune, (2016-2017a), Allotta et al, (2018), Istanc vd. (2019),...). 3B'lu modellemeler jeoloji, mühendislik, biyoloji, arkeoloji, ozenografya, restorasyon, mimari ve daha birçok uygulamalı ve bilimsel alanda belgeleme için önemli bir araç haline gelmiştir. Bu nedenle veri elde edebilmek için fotogrametri'ye göre daha çok zaman gerektirmektedir. Yakın zamana kadar çoğunlukla lazerlerin görüntü ölçekleme yöntemlerinde görüntülerdeki ölçülerin tek tek ölçülmesinde kullanıldığı bilinmektedir. (Istanc vd., 2019: 2)³⁶.

Üç boyutlu (3B) fotogrametriden daha kesin sonuçlar veren üç boyutlu lazer tarama yöntemi, daha maliyetli araçlar gerektirmektedir. Nokta bulutları olarak binlerce noktanın konumu hızlı bir şekilde alınmakta ve üç boyutlu (3B) nesnenin veya alanın yüzeyinin görselleştirilmesinde kullanılmaktadır. Lazer tarama çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar: geometrik şeklin elde edilmesi, hizalama ve kayıttır. (Davidde Petriaggi ve Ayala, 2015: 79).

Fotogrametri (SfM) ve navigasyon füzyonlu sistemler (SBL-USBL) dışında, Klemen Istanc ve arkadaşlarının 2019 yılında yayınladığı makale'de Lazer Fotogrametri olarak karşımıza çıkan lazer ölçekleyici tabanlı olan yöntem karşımıza çıkmaktadır (Istanc vd., 2019:

³⁶ Daha ayrıntılı bilgi için bakınız: Davis ve Tusting, 2019; Pilgrim vd., 2000.

1-33). 1980’li yıllardan itibaren kullanıldığı bilinen Lazer ölçekleyicilerin, bu çalışmada verileri toplanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma 20 km’lik bir alanda, 30’dan farklı yerden bir ROV ile elde edilen görüntülerle 3B’lu model veri setleri toplanmıştır. USBL (Ultra Short Baseline System) ile navigasyon verileri, 4 lazer ışınından oluşan bir lazer ölçekleyicinin merkezine yerleştirilmiş optik kamera vasıtasıyla toplanmıştır. Istenic, K., Gracias, N., Arnaubec, A., Escartin, J., Garcia, R. (2019) yayınında 3B modelleme üretimi için geliştirilmiş stratejilerin incelemesi ve hata değerlendirilmeleri bu çalışma içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmada 3B modelleme ve görüntü üzerindeki ortak noktaların, manuel olarak tanımlanmasından kurtardığı görülmektedir. Ancak daha fazla süre ve belirli bir amaca yönelik kullanım gerektirmektedir (Istancic vd., 2019: 2-3). Bu alanda yapılmış olan araştırmaların sonucunda lazer sistemlerinin dezavantajları olarak; kameranın görülen optik eksenyle lazerin hizalanması ve lazerin sahneye olan dikliği görülmektedir.

Bir başka ışık temelli olan LiDAR’ın (Light Detection and Ranging veya Laser Imaging Detection and Ranging) su altında gerçekleştirilecek çalışmalar için henüz uygun olmadığı görülmektedir. Genellikle havadan, kıyı ve kıyıya yakın alanlarda gerçekleştirilen araştırmalarda bir haritalama aracı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Lazerin dalga boyutuna göre elde edilen sonuçlar değişebilmektedir. LiDAR ile ilgili olarak Massot-Campos ve Oliver-Codina (2015) yaptığı çalışmada cihazlar karşılaştırılmış ve kıyusal batimetri çalışmalarında kullanıldığı görülmüştür. Çalışma sonucunda LiDAR’ın havadan, kıyusal alanlarda rekonstrüksiyon için uygun olduğu görülmektedir (Massot-Campos vd, 2015: 31531-31532). LiDAR üzerinde henüz hazır olmasa da çalışmalar yürütülmekte ve çeşitli cihazlar geliştirilmeye çalışılmaktadır. SL3 LiDAR bu duruma örnek olarak verilebilir³⁷. ROV gibi sualtı cihazlarına uygun olduğu öne sürülmekle birlikte VR imkânı da sağlamaktadır. Ancak taramayı tamamlaması için 3 saat gerekmektedir. Derin su altı araştırmalarında kullanılabileceği düşünülmeyle birlikte henüz bilimsel bir çalışma içerisinde kullanıldığına rastlanmamıştır. Ayrıca bu cihaz ile BBC kanalının gerçekleştirdiği “*Italy’s Invisible Cities*” televizyon programında yayınlanan, söz konusu bu teknolojiye dayanarak Erken Yunan ve Roma’dan başlayan Naples’in 2500 yıllık tarihinin ortaya çıkarılmasında kullanıldığı dile getirilmektedir³⁸.

Tüm bu durumlardan hareketle lazer tarayıcı ve ölçeklerin şu anda çalışmalarda kullanılabilir olduğu ancak ekipmanlarının maliyetinin yüksek olması, LiDAR’ın su altından

³⁷ 3D at Depth. (2020). Erişim adresi: <https://www.3datdepth.com/> (erişim tarihi: 17.09.2020).

³⁸ 3D at Depth. (2020). Archaeological Sites and Wrecks Erişim adresi: <https://www.3datdepth.com/applications/archaeological-sites-and-wrecks> (erişim tarihi: 17.09.2020).

çok kıyasal çalışmalara uygun olması ve su altına entegrasyonu için çeşitli çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir. Işık ışınlarının su altında soğuruluyor olması bu cihazlardaki performansın düşmesine neden olduğu bilinmektedir. Fotogrametri veya Batimetri ile birlikte füzyon sistemler olarak adlandırılan sistemlerin kullanıldığı bilinmektedir.

3.2. Fotogrametri’de Kullanılan Yazılımlar ve Veri İşleme

Günümüzde yeni teknolojilerin gelişimi ile birlikte bu teknolojilere ulaşım imkânı artmış ve maliyet azalmıştır. Yazılımlardaki gelişim ile birlikte modelleme için birçok işlemi gerçekleştirmek kolaylaşmıştır. Fotogrametri de yeni yöntemlerin gelişimi ile teknolojiye bağımlı olarak ilerlemektedir. Optik fotoğraf makineleri ve ekipmanlarda yaşanan yenilikler, bilgisayar yazılımlarındaki (CAD) yenilikler, cihazların uygun fiyatları ile ulaşılabilirliğin artması sonucu hem bilimsel amaçlara yönelik sonuçlar hem de hobi olarak modelleme ve rekonstrüksiyon yapılmaktadır. Günümüzde birçok kişi bu teknolojilerden faydalanarak çeşitli 3B modellemeleri üretmektedir. Üstelik bu modellemeleri üreten çeşitli toplulukların veya bireylerin çalışmaları çevrimiçi platformlar üzerinden yayınlamaktadırlar³⁹. Örnek olarak vermek gerekirse GIRT (Gathering Information via Recreational and Technical) Scientific Divers koruma odaklı bir vatandaş-bilim projesi olarak karşımıza çıkmaktadır ve daha buna benzer birçok örnek olduğu da görülmektedir⁴⁰. Bilimsel değeri tartışılabilir olsa da başarılı modellemeler görülmektedir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımların gelişimi özellikle modelleme ve rekonstrüksiyon alanında büyük etki yaratmıştır. Çünkü bir dizi matematiksel, geometrik hesaplama işlemlerini yazılımın kendisi gerçekleştirmekte ve işimizi kolaylaştırmaktadır. Birçok yazılım bu alanda kullanılmaktadır. Agisoft Metashape (Photoscan) başta olmak üzere fotogrametri’de dahil çeşitli alanlarda kullanılan amaca yönelik yazılımlar; ArcGIS, Pix4D, AutoDesk ReCap Photogrammetry, Visual SfM, Reality Capture, Photomodeler, Agisoft Lens, iWitness, MicMac, 3DF Zephir, Meshroom, Colmap kullanıldığı bilinmektedir (McCarthy vd., 2019: 4; Baletti, 2015: 9; Remondino, 2012: 3). Ayrıca bunlar dışında çeşitli amaçlarla (fotoğraf düzenleme, çizim, haritalandırma) Adobe Photoshop, Illustrator ve AutoDesk AutoCAD, 3H Site Recorder yazılımları da kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen bu yazılımlar Fotogrametri için tercih edilen yazılım paketleri olması dışında; Meshlab, Rhino3D, 3Ds Max, Blender gibi 3B modelleme yazılımları da bu alanda kullanılabilmektedir. Çalışmalarımızda Metashape’in tercih edilme nedeni ise kamera

³⁹ Bkz. Sketchfab (sketchfab.com).

⁴⁰ Sketchfab. (2020). Erişim adresi: <https://sketchfab.com/GIRT>; <https://sketchfab.com/3d-models/cessna-aircraft-underwater-b297f402a5b24f8ba486e3d45a294d1f>; <https://sketchfab.com/3d-models/underwater-pecio-de-ses-llu-metes-porto-cristo-e65690fcb07043c68215ad53dd72cd70> (erişim tarihi: 30.10.2020).

kalibrasyonuna ihtiyaç duymaması ve piksel bilgilerini kullanarak 3B modelleme işlemlerini yapmasıdır (Agisoft LLC,2018: 8-13; Agisoft LLC, 2019: 8-13) Metashape’in Fotogrametri için kullandığı algoritma “Computer Vision” adlı disiplinde geliştirilmiştir. Computer Vision teriminin tanımını ise; “robotik cihazların yapıları anlamasına yardımcı olmak için tasarlanmış bir bilgisayar biliminin alt bilimi” olarak karşımıza çıkmaktadır (Van Damme, 2015: 11-12; Yamafune, 2016: 51). Yukarıda bahsedilen bu yazılımlardan bazıları açık kaynaklı olup, erişime açık ve ücretsiz iken bazıları ise ücretlidir. Agisoft Metashape ücretli bir yazılımdır ve çalışmalarda kullanılmıştır.

Bu tez içerisindeki Saha Çalışmalarında, Agisoft Metashape’in yanı sıra Adobe Photoshop, Premiere, 3Ds Max ve Autocad, Rhinoceros 3D, 3H Site Recorder yazılımlarından yararlanılmaktadır. Agisoft Metashape, Agisoft firması tarafından geliştirilen, görüntülerden yararlanarak 3B modelleme içerikleri üreten yazılımdır. Kontrollü veya kontrolsüz çalışmalarda kullanılabilecek bu yazılım çoklu görüntülü 3B modelleme teknolojisi olarak rastgele görüntülerle de çalışabildiği ve en az iki fotoğrafta, iki farklı noktadan, modellemesi yapılacak nesnenin görünmesi zaruridir (Agisoft LLC, 2019: V).

3.2.1. Agisoft Metashape

Metashape yazılımının kullanım amacı genel olarak görüntülerin işlenmesi ile 3B yüzey, ortomosaik ve DEM oluşturmaktır (Agisoft LLC, 2019: V). Bu yazılım içerisinde kamera kalibrasyonuna ihtiyaç duymaz, fotoğraflardaki piksel bilgilerini kullanarak 3B modellemesini gerçekleştirir. Bu yazılımın Türkçe dil desteği yoktur. Bu tez içerisinde öneri olarak bazı terimler Türkçeleştirilmiştir. Fotogrametri için sırasıyla uygulanan temel adımlar vardır. Bu temel adımlar basitçe: 1- Photo Align (Fotoğraf Hizalama). 2-Build Dense Cloud (Nokta Bulutu Oluşturma). 3-Build Mesh (Mesh Oluşturma). 4-Build Texture (Doku Oluşturma) olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır (Fig. 14).



Figür 14: Temel adımlar, İş Akışı.

3.2.1.1. Align Photos (Fotoğraf Hizalama)

İlk olarak yazılım içerisine fotoğraflar Workflow menüsünde yer alan “Fotoğraf Ekle” (Add Photos) seçeneği ile çalışmanın gerçekleştirileceğini nesne veya alanın fotoğraflarını içe

aktarırlar. Fotoğraflar eklendikten sonra üç boyutlu modellemenin ilk aşaması olan Align Photos'da fotoğraflar hizalanır. Bu hizalama işleminde Metashape fotoğraflar üzerindeki ortak noktaları arar ve eşleştirir. Bunun yanında kamera konumlarını ve kamera kalibrasyonunu geliştirir (Agisoft LLC, 2019: V). Yazılım kamera kalibrasyonuna ihtiyaç duymadan da modelleme işlemini yapabiliyor olsa da yine de bazı uzmanlar tarafından kamera kalibrasyonunun yapılması önerilmektedir (Skarlatos vd., 2010: 2-4; Diamanti vd., 2011: 2-5; Drap, 2012: 114-115). Bunun nedeni olarak ise hizalama işlemi olan Align Photos sürecinde fotoğrafları daha iyi işleyebilmesi ve doğruluk oranının artması içindir. Ancak kalibrasyona yazılım sahip olduğu algoritma sayesinde ihtiyaç duymamaktadır. Yazılım fotoğraf hizalaması işlemini dahili ve harici kamera yönlendirme parametrelerini tahmin ederek yapmaktadır. Metashape yazılımı kalibrasyon işlemini fotoğrafların kamera türü, görüntü çözünürlüğü, odak uzaklığı gibi EXIF41 meta verilerine göre kendisi otomatik olarak algıladığı ve gruplandığı bilinmektedir (Agisoft LLC, 2019: 54).

Kamera kalibrasyonu işlemini manuel olarak yapabilmek için, Metashape yazılımı içerisinde yer alan Tools menüsünden Camera Calibration'a (Kamera Kalibrasyonu) ulaşılır. Burada Chunk (yığın) içerisinde yer alan fotoğrafların otomatik olarak hangi makineden çekildiği ve odak uzaklığı gibi benzeri bilgiler yer almaktadır (Fig. 15). Bu bilgiler manuel olarak değiştirilebilir ve daha iyi veri elde edebilmek için ayarlanabilir. Ayrıca çeşitli gruplandırmaları Fig. 4'de sol tarafta görülen şekilde manuel olarak ayarlamak mümkündür. Yazılım 4 farklı kamera türünü desteklemektedir. Bu türler; Tam Kare ve Balık Gözü Fotoğraf Makineleri (Frame Camera, Fisheye Frame Camera), 360° Kameralar (Spherical Camera) ve Panoramik Kameralar (Spherical camera Cylindrical projection.) olarak bilinmektedir. (Agisoft LLC, 2019: 54-55).

Kamera kalibrasyonunu manuel olarak ayarlayabilmek için gerekli parametreler vardır ve bu parametrelerin açıklaması aşağıda Agisoft Metashape User Manual⁴²'de belirtildiği şekilde Türkçe çevirisi ile verilmiştir.

Bu parametreler:

- | | |
|--------------|--|
| f | : Piksel cinsinden ölçülen odak uzaklığı |
| cx,cy | : Temel nokta koordinatları |
| b1,b2 | : Yakınlık ve Eğri Dönüşümü katsayıları (affinity ve skew) |

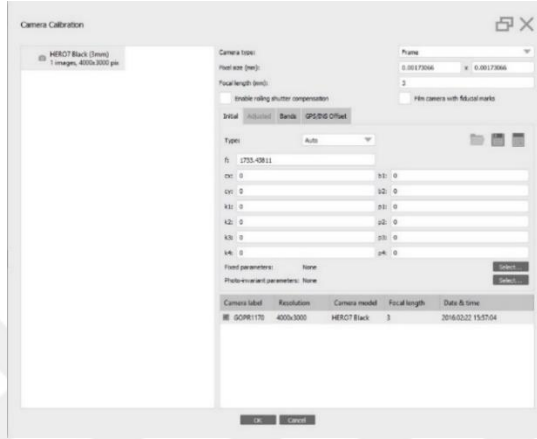
⁴¹ Exchangeable Image File - Değişebilir Görüntü Dosyası Biçimi. Daha fazla bilgi için Bkz. PhotographyLife (2020). EXIF Data Explained. Erişim adresi: <https://photographylife.com/what-is-exif-data> ; hakkıceylan.com (2013). EXIF Nedir? Nasıl kullanılır? Erişim adresi: <https://www.hakkıceylan.com/exif-nedir-nasil-kullanilir> (erişim tarihi: 09.05.2021).

⁴² Kullanıcı Klavuzu.

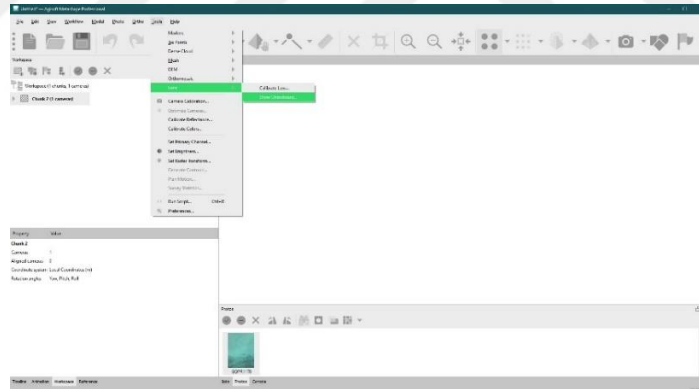
k1,k2,k3,k4 : Radyal Bozulma katsayıları

p1,p2,p3,p4 : Teğetsel bozulma katsayıları (Agisoft LLC, 2019: 57).

Kamera Kalibrasyonu işlemi için yazılım içerisinde yer alan bir satranç tahtasının (Tools>Lens>Show Chessboard) görüntüleri farklı açılardan çekilebilir ve bu çekilen fotoğraflar Metashape yazılımına yüklenerek Kamera Kalibrasyonu yapılması için kamera bilgilerini yazılımın görmesini, tanınmasını ve yapılacak olan fotoğraf hizalama işlemini belirlenen parametrelere göre yapması sağlanabilmektedir (Fig. 16-17).



Figür 15: Kamera Kalibrasyonu penceresi.



Figür 16: Satranç tahtasını açabilmek için ilgili menü yolu.

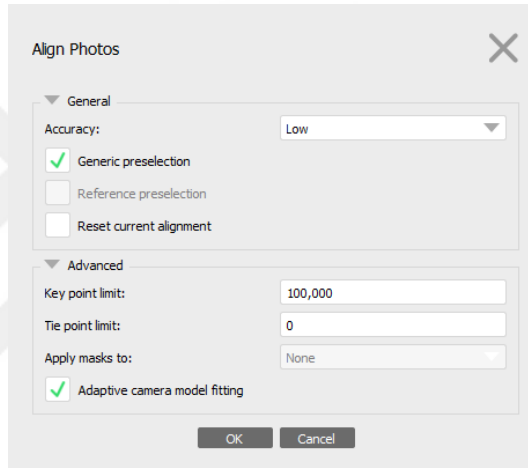


Figür 17: Kalibrasyon işlemi için satranç tahtasının görünümü.

Ayrıca Kamera kalibrasyonu işlemi taranmış olan fotoğraflar için de uygulanabilmektedir. Taranmış olan fotoğraflardan 3B modelleme imkanı yazılım bizlere

sunmakla birlikte PhotoModeler, Australis, 3DM Calibcam, Calcam gibi yazılımlardan da kalibrasyon verilerini içe aktarma olanağı bizlere sunmaktadır. (Agisoft LLC, 2019: 55-57).

Kalibrasyon işleminin manuel olarak yapılmasının ardından veya yazılımın kendisine bu işlem bırakıldıktan sonra fotoğrafların yüklenmesi ile fotoğraf hizalama işlemi olan Align Photos başlatılır. Align Photos aşamasının üç farklı ayarı bulunmaktadır: Lowest, Low, Medium, High ve Highest (en düşük, düşük, orta, yüksek ve en yüksek) olarak sunulan bu ayarlar doğruluk oranına göre belirlenir. High’da fotoğrafların tüm çözünürlüğünü kullanırken, Medium’da %50 ve Low ayarlarda bu oran %25’tir. Fotoğraflardaki ortak özellikler taranır ve benzer sahneler tespit edilir. Yazılım, bu benzerliğe göre hizalama işlemini yapar. Ayrıca bu 5 seçenek dışında fark yaratabilecek gelişmiş ayarlar da bulunmaktadır (Yamafune, 2016: 53) (Fig. 18).



Figür 18: Align photos için seçenekler penceresi.

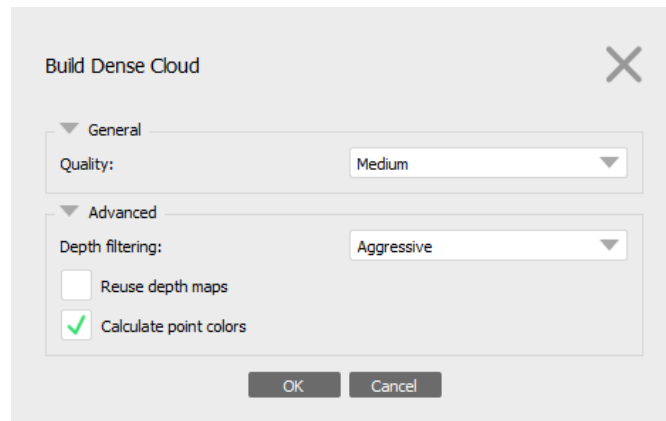
Generic pre-selection seçeneği, hızlı bir şekilde benzer özellikteki fotoğrafları algılar, süreci hızlandırır ve kamera konumunu belirlemek için bu işlemde algıladığı iki görüntüyü tarar. Aktif olması süreyi azaltır. Key point limits⁴³ fotoğraflardaki ortak özelliklerin tespiti için kullanılacak pixel sayısını ayarlar. Bu değerin artması işlem süresini arttırır ancak oluşturulacak Nokta Bulutu’nun kalitesini de arttırmaktadır. Tie point limit ise ne kadar ortak noktanın derinliği oluşturmak için kullanıldığını hesaplar. Metashape, bu işlem sonucunda hizalama yaparak yoğun olmayan bir nokta bulutu oluşturur ancak bu nokta bulutu sonraki işlemlerde kullanılmamaktadır (Agisoft LLC, 2019: 22-24). Burada önemli olan kamera konumlarının belirlenmesi ve bu kamera konumlarına göre 3B yüzeylerin yapılandırılması için gereklidir (Agisoft LLC, 2019: V). Fotoğraf hizalama işlemi kaliteden çok fotoğrafın çekimiyle ilişkilidir (Yamafune, 2016: 53). Yazılımın bize sağladığı özelliklerden birisi olan Marker’lar (işaretleyiciler) ile çeşitli (kontrol noktası, özel kodlar, eşeller, vb.) referans noktaları

⁴³ Standart değeri 40.000’dir.

belirtilmektedir. Böylelikle işaretleyiciler ile belirtilen referans noktaları sayesinde Fotoğraf hizalama işlemi yapılacak olan modellemenin daha başarılı ve doğru olmasını sağlayacaktır. Ayrıca hizalama sonucunda elde edilen veriler, dışarıya farklı kullanımlar için de aktarılabilir.

3.2.1.2. Build Dense Cloud (Nokta Bulutu Oluşturma)

Fotoğraf hizalama aşaması bittikten sonra Build Dense Cloud aşamasına geçilir (Fig. 19). Bu aşamada nokta bulutu görüntülere ve kamera konumlarına bağlı olarak nokta bulutu oluşturur. Oluşturulan noktalar, yüzeyleri poligonları kısaca modelin geometrisini oluşturacaktır. Bahsi geçen nokta bulutu dışarıya aktarılabilir veya düzenlenebilir, sınıflandırılabilir (Agisoft LLC, 2019: V). Bu aşamada da yine fotoğrafların çözünürlüğüne bağlı olarak 5 adet ayar bulunmaktadır. Bunlar; Ultra high (en yüksek), high (yüksek), medium (orta), low (düşük) ve lowest (en düşüktür) dır. Ultra high ayarında görüntü çözünürlüğünü tam boyutta kullanırken, high'da %50, medium ayarlarında bu oran %25, lowest ayarlarında ise %6,75'dir. Bu ayarlardan dışında gelişmiş ayarlardan kısaca bahsedilirse ilki Depth Filtering'tir. Depth Filtering⁴⁴ içerisinde ayarlar bulunur ve bu ayarlar nesnenin renk tonuna bağlı olarak farklılık gösterir. Örn; Aggressive seçeneğinde boş alan olarak tanımlar ve içerisine noktalar oluşturmazken, Mild seçeneğinde bu boş alan olarak tanımlanan tek renkli alanları, nesneler olarak tanımlayıp noktalar ile doldurmaktadır. Moderate ayarları, Aggressive ve Mild arasında bir filtreleme yapar. Disable ayarında ise derinlik tanınmaz, bir yüzey olarak görmez ve boşluklar oluşturur. Mild seçeneği tek renk (monoton) yüzeylerde etkiliyken, Aggressive ise gerçekten boşlukların olduğu fotoğraflarda etkili olmaktadır. Bu ayarların fotoğraflara göre seçilmesi önerilmektedir (Yamafune, 2016: 59-60; Agisoft LLC, 2019: 25-26).



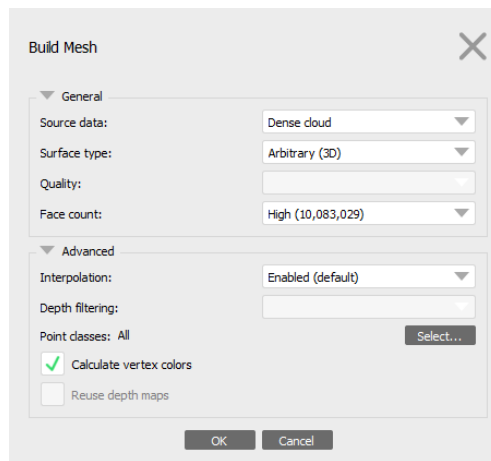
Figür 19: Build Dense Cloud için seçenekler penceresi.

⁴⁴ Derinlik Filtresi.

3.2.1.3. Build Mesh (Mesh Oluşturma)

Build Dense Could aşamasından sonraki aşamadır. Mesh⁴⁵ adı ile bilinen bir 3 boyutlu nesnesin yüzeylerinin poligonlar ile oluşturulduğu aşamadır. 3B poligonal Mesh (örgü) modeli nokta bulutuna bağlı olarak nesne yüzeyini oluşturur. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, Digital Elevation Model (DEM)) ise kullanıcının isteğine göre coğrafi, düzlemsel veya silindirik projeksiyonlarla şekillenmektedir (Agisoft LLC, 2019: V).

Yazılımın üçüncü aşaması olan Build Mesh’de çeşitli ve gelişmiş ayarlar bulunur. Bu ayarlar; Source Data (Kaynak Veri), Surface Type (Yüzey Tipi), Quality (Kalite), Face Count (Yüzey Sayısı), Interpolation ve Point Classes (Nokta Sınıfı)’dır (Fig. 20). Source Data’da kullanılacak veriyi seçerken, Surface Type’da oluşturulacak yüzey tipine göre Height Field veya Arbitrary seçenekleri vardır. Bu seçeneklerden Height Field düz bir alan veya düz bir yapı olduğunda seçilmesi gereken seçenektir. Bir nesne veya yapı 3B’lu ise o zaman Arbitrary seçilmelidir. Face Count ise oluşturulan yüzeylerin toplam sayısıdır. Gelişmiş ayarlardan olan interpolation ise 3 seçeneğe sahiptir; Enabled, Extrapolated ve Disabled. Disabled seçeneğinde nokta bulutuna göre doğru şekilde mesh’leri yeniden yapılandırır. Enabled seçeneğinde küçük boşlukları belirli bir yarı çaptaki noktalardan ölçerek ayrı noktalardan poligonlar yaratarak doldururken Extrapolated seçeneğinde ise ayrı noktalardan poligonlar oluşturarak büyük boşlukları doldurur. Arkeolojik veriler elde etmek için Disabled, görselleştirme içinse Enabled seçeneğinin seçilmesi önerilmektedir (Yamafune, 2016: 62-67; Agisoft LLC, 2019: 26-28). Point Classes ayarı ise CBS bazlı harita yazılımları için olup, CBS yazılımında yer alan kategorilere göre verileri okumasına ve seçilen nokta türüne göre mesh’ler oluşturmasını sağlar (Yamafune, 2016: 67).

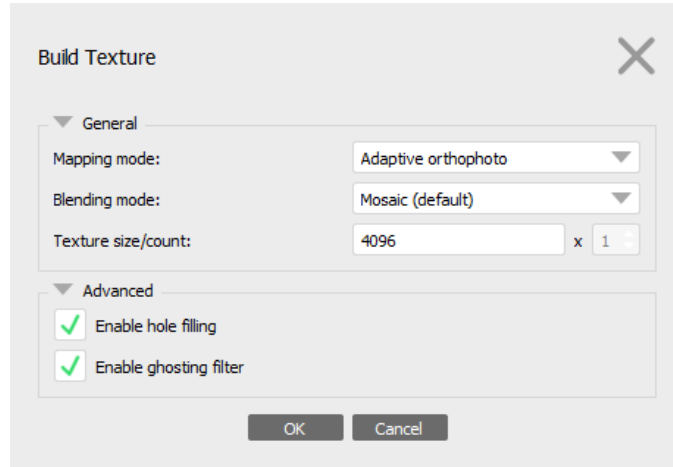


Figür 20: Build Mesh için seçenekler penceresi.

⁴⁵ Mesh: Ağ veya Kafes olarak tercümesi yapılabilir.

3.2.1.4. Build Texture (Doku Oluşturma)

Son aşama ise Build Texture'dır. Bu aşamada bir yzey oluşturulduktan sonra doku atanabilir veya ortofoto oluşturulabilmektedir. Bir Mesh veya DEM oluşturulmuşsa kullanıcının tercihleri doğrultusunda ortofoto (orthophoto)⁴⁶ oluşturabilir. Burada da çeşitli ayarlar ve farklı seçenekleri ile gelişmiş ayarlar mevcuttur (Fig. 21). İlk ayar Mapping mode; dokular zzerin UV⁴⁷ haritalama yzntemlerini uygular. UV haritalama⁴⁸ ise gerçek dnya dokularını yansıtan 2B bir tuval oluşturur ve nesne ya da objeler bununla kaplanır. Generic, Adaptive Orthophoto, Orthophoto, Spherical, Single Camera ve Keep UV seçeneklerine sahiptir. Genellikle 3B modellemeler için Generic ayarı znerilmektedir (Yamafune, 2016: 68-69; Agisoft LLC, 2019: 28-31). Blending mode'da ise UV haritasında doku için seçilen fotoğraf gzyntzleri oluşturmak için kullanılır. Mosaic, Average, Max Intensity, Min Intensity ve Disabled olarak 5 seçeneği vardır. Varsayılan seçeneği mosaic'tir ve bu seçenekte fotoğraflardaki benzer noktalara en yakın olanı seçer ve diğer zst zste binen fotoğraflarla karıştırmadan kullanmaktadır. Dokulara sahip ie aktarılmış modellemelerde disabled ayarı seçilir. Max Intensity ve Mix İntensity birbirinin tersi işlev gzyr ve maksimum-minimum piksel ve fotoğraf yoğunluğuna gzyre uygular. Average da ise zst zste binen fotoğrafların piksel değerleri veya RGB renk değerlerine gzyre piksel değerlerinden dokuyu oluşturur. Arkeolojik fotogrametrik modellemelerde en iyi sonucun varsayılan ayar olan Mosaic'ten alındığı gzyrilmektedir (Yamafune, 2016: 69-73).



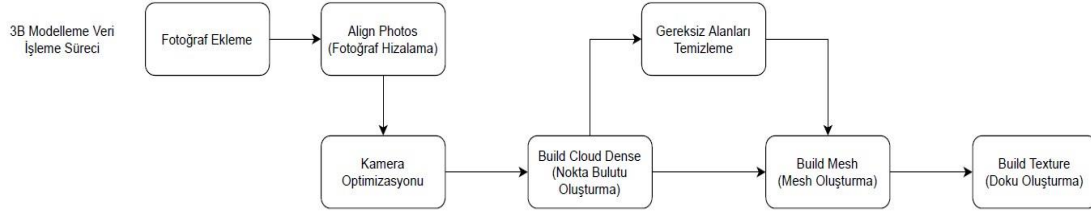
Figzr 21: Build Texture için seçenekler penceresi.

Agisoft Metashape yazılımı sualtı fotogrametrisi için kullanılırken birkaç iş akışından yararlanılmaktadır. 3B modelleme (Fig. 22), zlekleme (Fig. 23) ve Coğrafi referans ekleme (Fig. 24) szyrecinde yazılımdan aktif bir şekilde yararlanılmaktadır.

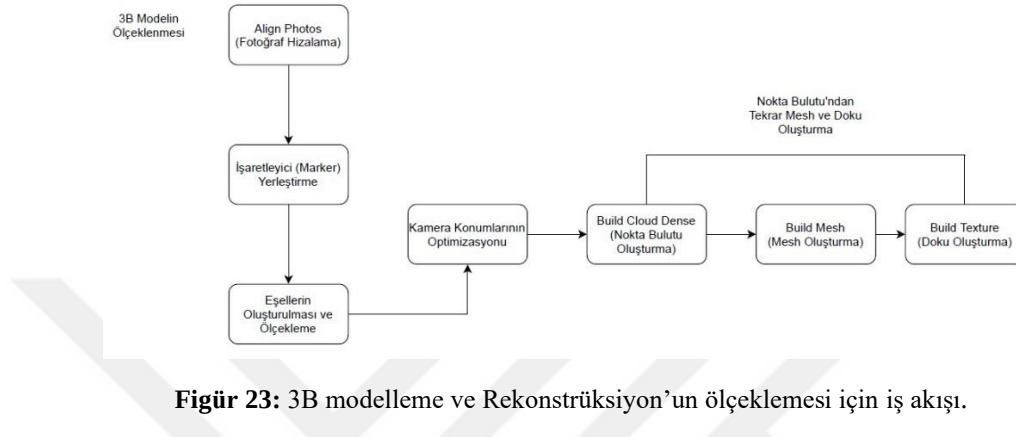
⁴⁶ Yzsek zyznlzrlzklz/kaliteli foto-mozaik.

⁴⁷ "U" ve "V" İki boyutlu nesnenin eksenlerini belirtir.

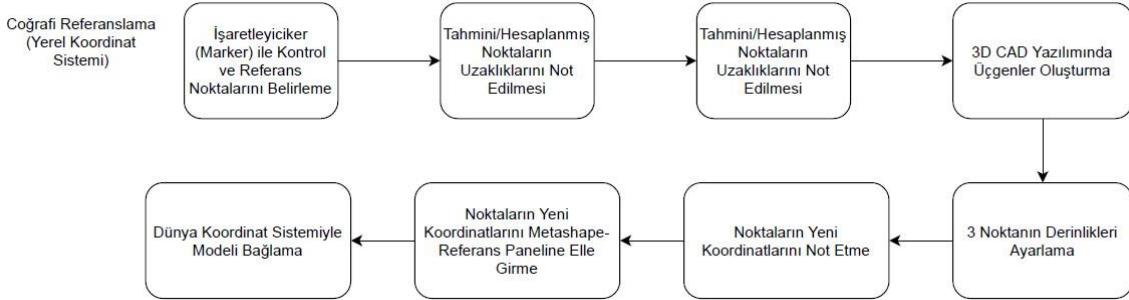
⁴⁸ 2B bir gzyntzyz doku haritalama için bir 3B modelin yzyeyine yansıtmanın 3B modelleme işlemidir.



Figür 22: 3B modelleme ve Rekonstrüksiyon için iş akışı.



Figür 23: 3B modelleme ve Rekonstrüksiyon'un ölçeklemesi için iş akışı.



Figür 24: Coğrafi Referanslama için önerilen iş akışı (Yamafune, 2017c: 19-22).

3.2.1.5. Build Orthophotos (Ortofoto Oluşturma)

Dijital Fotogrametrik sistemler yazılımlar aracılığı ile bizlere sunduğu olanaklardan birisi Ortofoto üretimidir. Ortofoto (Orthophotos)'nun tanımına baktığımızda birçok farklı terim açıklaması görülmektedir. Sualtı Fotogrametrisi bilindiği üzere hava ve karasal Fotogrametri yöntemlerinin su altına entegre edilmesiyle gelişmiş ve fotogrametrik ürünlerde (Ortofoto, SYM, Nokta Bulutu...) benzer şekilde üretilmeye devam edilmiştir. İlk olarak Karalar, F. Uysal, M., Varlık, A., Can, Z. C. (2003) yayınında yapılan tanıma bakıldığında şu şekilde açıklamışlardır: “*Digital ortofoto bir veya daha çok hava fotoğrafı veya uydu görüntüsünden türetilmiş bir sayısal harita ürünüdür.*” (Karalar vd., 2003: 47).

Bir başka tanımlamaya bakıldığında ise; “Fotogrametri teknikleriyle elde edilen fotoğraflardaki optik hataların düzeltilmesi, gerçek düzlemdeki nesnenin 3 boyutlu koordinatlarının otomatik olarak hesaplanması ve birim alanda yapılan yataylama sonrası

oluşan, ölçekli, ortogonal fotoğrafa “orthophoto” denir.”⁴⁹ Y. Kotaro’nun yaptığı yayınlarda ortofoto için “yüksek çözünürlüklü fotomozaik” tanımını kullanmaktadır (Yamafune, 2016: 29; Yamafune, 2017a: 523). Bu bilgilerden hareketle ortofoto için, düzenlenmiş 2 boyutlu yüksek çözünürlüklü fotoğraflardan oluşan fotomozaik’tır. Bu fotoğraflar belli bir ölçeğe getirilmiş ve üzerlerinden çizim veya ölçüm yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

3.2.1.6. Build DEM (Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma)

Metashape yazılımı içerisinde yer alan “Build DEM” ile bizlere SYM/DEM üretimini sağlamaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) olarak çevrilen “Dijital Elevation Model (DEM)”, LiDAR, uydular veya fotogrametri kullanılarak elde edilen yükseklik verilerinden üretilmektedir. Bir arazinin yükseklik verilerinin kullanılmasıyla 3B bilgisayar grafiği olarak arazi topoğrafyasının karakteristikleri içeren dijital gösterimdir. Bu yüzden modellemenin kalitesi oldukça önemlidir. Çünkü arazi analizleri için gerekli olan arazi eğimi, eğim uzunluğu, havza alanı gibi bilgileri içermektedir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde sıklıkla kullanılmakta ve içeriye veya dışarıya yazılımlar aracılığıyla veriler aktarılabilir. Söz konusu yükseklik olduğu için, tıpkı günümüzde Dijital Fotogrametri için ortak kullanılan bir terim olmaması gibi CBS’de çeşitli belirsizliklerden dolayı farklı yükseklik modelleri vardır ve bu durum projede hangisinin kullanılacağına bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu yükseklik modelleri: DSM (Digital Surface Models/Sayısal Yüzey Modelleri), DEM (Digital Elevation Models/Sayısal Yükseklik Modelleri), DTM (Digital Terrain Models/Sayısal Arazi Modelleri) ve TIN (Triangular Irregular Networks/Düzensiz Üçgen Ağları)’dır⁵⁰. Metashape yazılımı içerisinde oldukça kolay bir şekilde üretilebilmektedir. Bunun için yapılması gereken Workflow menü sekmesinden Build DEM seçilmesi yeterlidir. Dense Cloud veya Mesh’i temel alarak üretimi gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca Dense Cloud’da ve Mesh’de yer alan noktaları Classifty Point seçeneği ile özelleştirebiliriz. Böylelikle isteğe göre bir model üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Fotogrametri, CBS ile ilgili bilimlerden birisi olmakla birlikte, ana amaçlarından birisi güvenilir, doğru DEM/ SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) üretmektir^{51 52} (Azami vd., 2017: 9). Günümüzde geleneksel yöntemlerle ölçümlerin alınması maliyetli ve zaman alıcı olması

⁴⁹ Motifharita. (2019). Mimari-Yersel Fotogrametri, Erişim adresi: <http://motifharita.com/careers/> (erişim tarihi: 20.12. 2019).

⁵⁰ ŞAHAN, N. H. (2019). DSM, DEM, DTM: CBS’de Yükseklik Modelleri. Erişim adresi: <https://surveyinggroup.com/dsm-dem-dtm-cbsde-yukseklk-modelleri/> (erişim tarihi: 20.12. 2019).

⁵¹ cbsakademi. (2016). Erişim adresi: <https://cbsakademi.ibb.istanbul/dem-nedir/> (erişim tarihi: 3.09.2020).

⁵² GISGeography. (2020). Erişim adresi: <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (erişim tarihi: 3.09.2020).

durumu fotogrametri ile üretilen SYM ortadan kalkmaktadır. Jeodezi, CBS, Fotogrametri, ortofoto üretimi, topografik harita üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (Erdoğan ve Toz, 2009: 1).

3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Sualtı Kültür Mirası'nın belgelenmesi için yapılan 3B modelleme işlemi sırasında arkeolojik alanın haritası da yapılmakta ve coğrafi referanslı bir şekilde elde edilmektedir. Bu haritalama işlemi öncesinde bir koordinat sistemi kurulması gerekmektedir. Koordinat sisteminin kurulmasıyla birlikte coğrafi referanslı, yüzey alan ve hacim ölçümlerine izin veren doğru ölçekli modelleme imkânı aynı zamanda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için oluşturulmuş bir veri tabanına da katkıda bulunmaktadır. Çünkü bu haritadaki veriler, yeryüzünün yükseklik, derinlik, yeryüzü şekilleri, nehirler vb. birçok öğeyi, doğal kaynakları içerebilmektedir ve bu tür veriler Coğrafi Bilgi Sistemlerini oluşturmaktadır. Öyle ki tarihsel gelişimi içerisinde ilk uygulamalarını 1832 yılında Charles Picquet ve 1854 yılında Doctor John Snow tarafından kolera salgını için yapılan harita ve ölümleri harita üzerinde göstermek için kullanıldığı bilinmektedir. Ancak CBS kavram olarak 1960'lı yıllarda Kanada'nın ulusal arazi yönetimi ve doğal kaynakları tespit etmek istemesi amacıyla Roger Tomlisson tarafından bilgisayar yardımı ile büyük miktardaki verilerin işlenmesi, depolanması saklanması için yarattığı otomatik bilgi sistemini bugün CBS olarak bilinmektedir⁵³ (Mahaxay vd., 2012: 4). 1960-80 yılları başlangıç ve gelişim dönemini oluştururken, 1980-2000 yılları arasında ticari dönemi olarak değerlendirilmektedir. Gelişimine teknolojinin ilerlemesi ile birlikte devam eden bu ticari sistemler 2000 yılı sonrası ve günümüzde her alanda kullanılmaya başlanmış, kurumsallaşmış ve mobil-web platformlarında büyük gelişmeler gözlenmiştir (Özdemir, 2017: 16). Son birkaç on yılda gelişimi devam etmiş olan CBS, Sualtı Kültür Mirası'nın yönetimi sürecinde yararlanılmakla beraber özellikle alanın araştırılmasında, yönetilmesinde kullanılmaktadır (Mahaxay vd., 2012: 4-5).

Coğrafi bilgi sistemleri ile ilgili birçok tanımlama mevcuttur. Bunun temel sebebi ise kullanıcı kitlesinin çok farklı disiplinlerden insanların oluşturmasıdır (Kapluhan, 2014: 35). CBS'nin kullanıldığı çeşitli disiplinlere örnek olarak; Arkeoloji, Fotogrametri, beşerî coğrafya, jeomorfoloji, maden arama, varlık yönetimi, veri tabanları, yapay zekâ, uzaktan algılama (ortofoto üretimi), istatistik gibi daha birçok disiplin/bilim dalı verilebilmektedir. Mekansal

⁵³ Başarsoft. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Nedir? Erişim adresi: <https://www.basarsoft.com.tr/cografi-bilgi-sistemleri-cbs-nedir/> (erişim tarihi: 20.07.2020).

verilerle çalışabilen bu ilgili bilim dalları ve CBS hakkında Özdemir (2017) ve Jones (1997) yayınları bulunmaktadır. Bunun sonucunda farklı tanımlamalardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

UNESCO traning manual⁵⁴ çalışmasında verilen, GIS (Geographical Information System) yani CBS (Coğrafi bilgi sistemleri) tanımı şu şekilde belirtilmektedir: “Coğrafi Bilgi Sistemi, bir harita üzerindeki bir veya daha fazla konuma bağlı verileri yakalar, depolar, analiz eder, yönetir ve (dijitalleştirilmiş bir şekilde) sunar. Sistem bilgisayar tabanlıdır ve verileri bir dizi katmanda depolar. Tarama katmanları veya verileri (çoğunlukla bir veritabanında depolanır), bir mevki veya mevki koleksiyonuyla ilgili yeni bilgi ve anlayış sağlar.” (Mahaxay vd., 2012: 3). Kapluhanın yaptığı tanımlama ise şu şekildedir: “*Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal kökenli bilgilerin (grafik ve öznitelik) bilgisayar ortamında toplanması, girilmesi, saklanması, sorgulanması, mekânsal analizlerinin yapılması, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktı alınması için oluşturulan bir bilgi sistemidir (Aranoff, 1991).*” (Kapluhan, 2014: 36). Bir başka tanımlama ise Özdemir (2017) tarafından yapılmıştır: “.....*Coğrafi Bilgi Sistemleri; jeoreferanslandırılmış verilerin girildiği, analiz edildiği ve görsel sunumunun yapılabildiği bir bilgisayar sistemidir.*” (Özdemir, 2017: 13).

SfM (Structure from Motion) adı ile anılan Fotogrametri ile nesnelerin hareketinden yapıyı oluşturması, düşük maliyeti ve hızlı olması Teague vd. (2017) yapmış olduğu çalışmalarında elde ettiği Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile ArcGIS gibi Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı yazılımlarda analiz edilebileceği ifade edilmektedir (Teague vd., 2017:3-4; Kaya vd., 2019: 2). Ayrıca Yamafune (2016) doktora tezinde yer verdiği coğrafi referanslı ortofoto üretimi ve bu verilerin ArcGIS yazılımında analiz, veritabanları ve 2B harita üretimi gibi çalışmalar gerçekleştirilebilmekte, 2014 Gnalic Projesinde Dr. Torres tarafından ArcGIS ile bu çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir (Yamafune, 2016: 94-100).

Metashape yazılımı işaretleyiciler (marker) ile birlikte koordinat sistemi oluşturmakta ve bu buna bağlı olarak uzunluk, derinlik bilgisi ile Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM) oluşturabilmektedir. Yazılımlarda işlenen veriler ise CBS yazılımlarına aktarılabilir. Yer kontrol noktaları, (GCPs-Ground Control Points) işaretleyicilerin (marker) koordinatlarına göre veya kamera koordinatlarını göre baz alınarak bir koordinat sistemi oluşturmayı desteklemektedir. Bu veriler, Referans (Reference) Paneli üzerinden çeşitli formatları destekleyerek dışarıya veya içeriye aktarılabilir. Koordinat sistemi işaretleyiciler yardımıyla elle veya GPS özellikli kameralardan elde edilen görüntülerden otomatik olarak

⁵⁴ Daha fazla bilgi için Bkz. UNESCO. (2017). UNESCO Manual for activities directed at Underwater Cultural Heritage. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/unesco-manual-for-activities-directed-at-underwater-cultural-heritage/training-manual/> (erişim tarihi: 18.05.2021).

alınarak sağlanabilmektedir. Coğrafi referanslama için alana yerleştirilen kontrol ve referans noktaları işaretleyiciler yardımıyla gösterilmektedir. Referans panelinde uygun koordinatlar ve bu koordinatlara karşılık gelen noktalar seçilmelidir. İşaretleyiciler ile belirtilen noktaların referans panelinde etkin olması yazılım içerisinde kontrol noktası işlevi görürken, etkin olmayanlar ise referans noktası işlevi görmektedir. İşaretleyicilerin (marker) yerinin tespiti için en az 2 fotoğraf üzerinde gözükmesi gerekmektedir. Üzerinde işaretleyici yerleştirilmiş fotoğraf sayısı ne kadar çok ise o kadar yüksek oranda doğru konumu elde edilmektedir. Ayrıca en az 3 noktanın gerçek dünya koordinatları bilinmelidir. Yerel öklid hesaplamaları veya coğrafi referanslı koordinatlarla model oluşturulmaktadır (Agisoft LLC, 2019: 58-65).

Sonuç olarak mekansal verilere dayalı olması ile donanım, yazılım, insan, veri, metot ve network gibi bileşenlerin oluşturduğu CBS, Sualtı Kültür Mirası'nın belgelenmesinde, Fotogrametri ile birlikte oldukça sık kullanılan bir teknoloji sistemi olduğu görülmektedir. Agisoft Metashape gibi yazılımların desteklediği çeşitli özelliklerle birlikte CBS uygulamaları için yararlı olduğu görülmektedir. Özellikle coğrafi referanslı verilerin üretilmesiyle Arkeoloji, Sualtı Kültür Mirası Yönetimi için oldukça önemli bir hal almıştır. Çünkü yapılan modelleme ve haritalandırma işleminde 1:1 ölçekli, coğrafi referanslı olması CBS veritabanları ve bilimsel faaliyetlerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

3.2.3. Video Fotogrametri/Videogrametri

Günümüzde sadece dijital kameralardan veya ROV-AUV/UUV gibi su altı robotlarından elde edilen fotoğraflardan değil, video görüntüler üzerinden elde edilebilecek fotoğraf karelerinden de hızlı ve doğru bir şekilde Fotogrametri işlemi gerçekleştirmek, rekonstrüksiyon ve 3B modellemeler oluşturmak mümkündür (Yamafune, 2016: 82-89; Block et al, 2017: 551). Fotoğraflar ve videolardan elde edilen fotoğraf karesi arasındaki tek fark kullanılan görüntü kaynağı ve işleme sürecidir. Adobe Premiere Pro, Adobe Photoshop CC gibi yazılımlar aracılığıyla video'dan elde edilecek kareler ile Fotogrametri yapabilmektedir. Ek olarak fotoğraf karelerini elde edebilmek için Java programlama dili kullanılarak birkaç araç geliştirildiği ve kullanıldığı da bilinmektedir. Bu videogrametrik yaklaşımın, ilk olarak havasal (aerial) Fotogrametri ile bir proje içerisinde, UAV (Unmanned Aerial Vehicles)'lardan elde edilen görüntüler üzerinden denendiği ve bu deneyin sonucunda ise başarılı sonuçlar elde edildiği bilinmektedir (Block vd., 2017:551).

Video Fotogrametri'yi veya Videogrametri'yi cazip kılan avantajı daha geniş alanı kapsaması ve daha iyi görüntülerin üst üste binmesi sonucunda oldukça kaliteli modellemeler üretilmesidir. Burada belirleyici faktör videonun kaydedildiği cihazın özelliklerinin yüksek

olması gerekmektedir. Çünkü video çekimlerinden elde edilecek karelerin çözünürlüğünün 1920x1080 olması ve daha az orijinal renk içermesi dezavantaj olarak görülmektedir (Yamafune, 2016: 82-89; Block vd., 2017: 551-554). Görüntü kalitesinin düşük olması ise yapılacak olan çalışmanın başarısını etkilemektedir.

Marco Block ve arkadaşlarının 2017 yılında yayınladıkları makalede yer alan “See am Mondsee”de, Videogrametri/Video Fotogrametri çalışmasının gerçekleştirilmesi ve sonuçları paylaşılmıştır. Bu çalışmalarında kendi geliştirdikleri yazılım ve OpenROV üzerine yerleştirdikleri kameralar ile görüntüleri elde edip, videogrametri işlemlerini gerçekleştirdikleri görülmektedir (Block vd., 2017: 551-554).

Bu ve buna benzer çalışmalar ile gerçekleştirilebilecek çalışmaların önü açılmaktadır. Fotoğraf karesi dışında alternatif bir veri kaynağı da kullanılabilecektir.

3.3. Saha Çalışmaları

Bu bölümde güncel olarak kullanılan Dijital Fotogrametri metotlarından, DSM ve eşel (scale bar) uygulanması amaçlanmıştır. Ayrıca ROV ile görüntüleme ve modelleme çalışmaları da gerçekleştirilecektir. Bu Saha Çalışmaları T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü’nün 22.06.2020 tarih ve E.429362 sayılı izinleriyle Doç. Dr. Hakan Öñiz’in başkanlığında Antalya ve Mersin İlleri kıyılarında 2020 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştirilmiştir. Antalya ve Mersin İlleri Arkeoloji Sualtı Araştırmaları sırasında elde edilen bu verilerle görüntüleme ve belgeleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

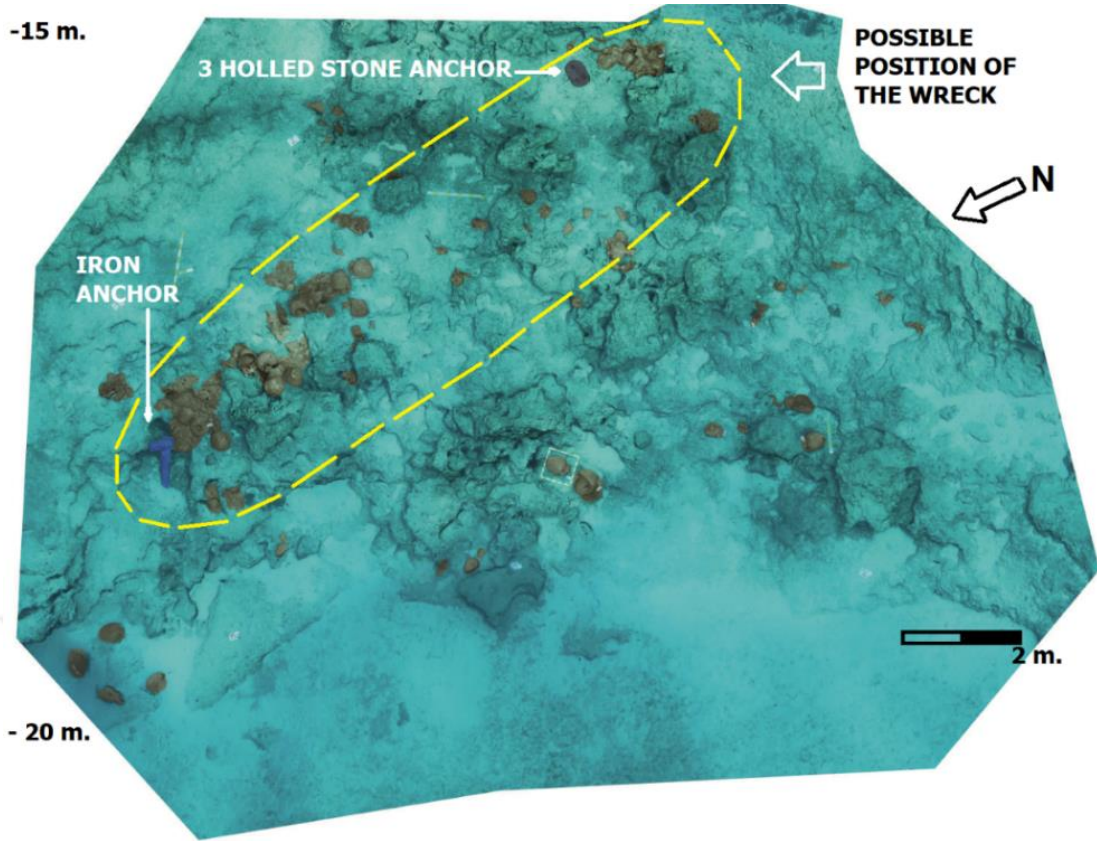
Akdeniz sularında çeşitli bölgelerdeki çalışmalarda elde edilen görüntülerden fotogrametrik ortofoto, 3B modelleme ve rekonstrüksiyonlar yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan ekipmanlardan ve donanımdan kısaca bahsedersek: Gopro Hero 5 (12 Megapixel, 4K 30fps -1080p 120fps), GoPro Hero 7 (12 Megapixel, 4K 60fps - 1080p 240fps), Sony Alpha A6300 (16-50mm, 24.2 Megapixel, 4K, 1920x1080, DSLR Fotoğraf Makinesi) modeli, CANON (EOS 750D) aksiyon ve DSLR fotoğraf makineleri ile ROV (Super Gnom⁵⁵) kullanılmıştır. Fotoğraf ve video görüntü verilerinin işlendiği bilgisayarlar ise; Hp Pavilion 15-bc017nt (Sistem özellikleri: Intel® Core™ i7-6700HQ -2,6 GHz, 3,5 GHz'e kadar, 6 MB önbellek, 4 çekirdekli 16 GB DDR4 RAM, NVIDIA® GeForce® GTX 960M (2 GB GDDR5 paylaşımsız) ekran kartı, 1 TB harddisk) ve Dell Precision 5530 (Sistem özellikleri: Intel Core i7-8850H (6 Core), 2.6 GHz (4.3 GHz Max Turbo), 32 GB RAM DDR4 RAM, 512 GB Solid

⁵⁵ Daha fazla bilgi için: GNOM ROV. (2021). Erişim adresi: <https://gnomrov.com/products/super-gnom/> erişim tarihi: (25.04.2021).

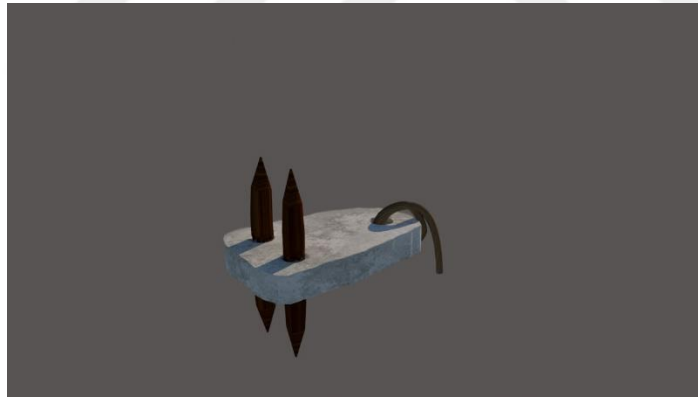
State Drive (M.2 SSD) 4 GB NVIDIA Quadro P1000 Ekran kartı) iş istasyonu kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında Fotogrametri için gerekli olan görselleri fotoğraf kameraları aracılığı ile çeken dalgıçlar; Elif Nur Anbarkaya ve Doç. Dr. Hakan Oniz'dir. ROV üzerine yerleştirilen GoPro ile elde edilen görüntülerle ve ROV'un sahip olduğu kameradan elde edilen görüntüleri toplayabilmek için operatörlüğü gerçekleştirenler ise Günay Dönmez ve Metehan S. Gül'dür. Birazdan bahsedilecek çalışmalarda Sualtı Fotogrametrisi (Dijital) gerçekleştirilmiştir. Metot olarak DSM (Direct Survey Method) ile eşeller bir arada kullanılarak veriler elde edilmiş, modellemeler hazırlanmıştır.

3.3.1. Kaş Fener Batığı Örneği

Doç. Dr. Hakan Öniz'in başkanlığını yaptığı Akdeniz Sualtı Yüzey Araştırması sırasında, Antalya ili Kaş ilçesinde İnce Burun Feneri'nden yaklaşık 500 m uzaklıkta, (kıyıdan yaklaşık 25m) açıkta yer alan bir batık dalışlar sonucunda tespit edilmiştir. Batığın muhtemel kargosu çevresine yayılmış, çok sayıda amphora, (form veren ve amorf) amphora parçaları ve bir 3 delikli taş çapanın bulunduğu bir batık olduğu tespit edilmiş ve alanda belgeleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alanda bir demir çapa gövdesi de bulunmuştur ancak batığa ait olup olmadığı kesin olarak bilinmemekle birlikte bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Alanda yer alan bu eserlerin kalkerle kaplandığı ve bazı amphoraların üzerinde bulunduğu kayaya kaynaştığı görülmektedir (Fig. 25). Batığa ait çapanın 3 delikli taş çapa olduğu ve bu taş çapanın Orta Çağ çapası olduğu düşünülmektedir. Söz konusu 3 delikli taş çapaların Tunç Çağı'ndan Orta Çağ'a ve modern zamanlarda da kullanıldığı, oldukça geniş bir zaman aralığında tarihlendirildiği görülmektedir (Raban, 2000: 260-272; Öniz, 2014: 13). Bunun nedeni aynı gemiye ait batıktan hiçbir ahşap kalıntısı veya herhangi bir verinin olmamasından dolayı 3 delikli taş çapaların tarihlendirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır (Öniz, 2014: 13-24). Batık içerisinde yer alan bu çapanın üç boyutlu modellemesi de yapılmıştır (Fig. 26).



Figür 25: Batığın muhtemel pozisyonu



Figür 26: Çapanın üç boyutlu (3B) modellemesi.

Batık alanında bölgeye yayılmış halde bulunan amphoraların, Ganos Tip 1 (Günsenin Tip 1) amphoraları olduğu tespit edilmiştir (Fig. 27, 28, 29). Bu amphora örneklerinin geniş bir alana yayıldığı ve Ganos Tip 1 (Günsenin Tip 1) olarak literatürde yer alan amphoraların kökeni ve üretim yerleri Marmara Denizi'nin kuzeybatısındaki Hoşköy ile Gaziköy ve bu iki yerleşim yeri arasındaki atölyelerde, amphora hamur analizleri ve fırınların tespiti sonucunda tespit edilmiştir (Günsenin, 1993: 193-198; DüNDAR, 2012: 55; Mimaroglu, 2014: 454; Aslan ve Orhan, 2018: 107). Bu amphoralarda "Ganos Şarapları"nın taşındığı ve 12. yüzyılda dolaşımda olduğu bilinmektedir (Mimaroglu, 2014: 454). Ayrıca bahsedilen Ganos Şarapları'nın büyük bir ticaret ağına sahip olduğu görülmektedir (Günsenin, 2009: 152; Kralj vd., 2016: 47-48). Bu

durum da amphoraların yayılım alanının oldukça büyük olduğunu göstermektedir. Bu amphoraların, Karadeniz ve Ege'deki merkezlerde, Bulgaristan, Yunanistan, Romanya'da, Doğu Akdeniz'in Anadolu kıyılarında ve Mısır, Kıbrıs, Girit, İtalya ve Adriyatik Denizi kıyılarında örneklerine rastlandığı, oldukça büyük bir yayılım alanına sahip olduğu görülmektedir (Günsenin, 1993: 193-201; Kralj vd., 2016: 48; Öniz, 2016: 146; Aslan ve Orhan, 2018: 107; Aslan ve Orhan, 2019: 93-94).



Figür 27: Batık alanından 1. görüntü.



Figür 28: Batık alanından 2. görüntü.



Figür 29: Batık alanından 3. görüntü, Ganos (Günsenin) Tip 1 Amphorası.

Amphoraların üzerinde kazıma (grafitto), boya ile yazma (dipinto) ve damga teknikleri ile yazılar, semboller ve damgaların olduğu bilinmektedir. Bu yazı veya semboller buluntuların ve batığın tarihlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu yazı, mühür veya semboller, Ganos Tip 1 amphoralarında da görülmektedir (Mimaroğlu, 2014: 454). Serçe Limanı Batığı'nda yer alan Ganos Tip 1 amphoraları üzerinde Bulgar kökenli grafitiler bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda sürekli şarap taşımada kullanıldığı, sadece şarabın ticaretinin yapıldığı ve gemide gelecek siparişler için hazır tutulduğu düşünülmektedir (Mimaroğlu, 2014: 454; Günsenin, 2009: 149). Batık alanında yüzeyde görülen amphoralarda, ilk incelemeler sonucunda henüz bir mühür, yazı veya sembol görülmemiştir. Çünkü kalker tabakası ile söz konusu amphoralar kaplıdır.

Bu amphoralara gerçekleştirilmiş olan kara kazılarında, su altı kazı ve araştırmalarında birçok örneğine rastlanmış ve bilim insanları tarafından yayınları yapılmıştır. Batık alanında yüzeyde görünen bu Ganos Tip 1 (Günsenin Tip 1) amphoraları incelendiğinde benzer örneklerinin Phaselis'de 11-12. yüzyıla, Kekova'da 10-11. yüzyıla, Kadıkalesi/Anaia kazılarında 10-13. yüzyıla, İstanbul Saraçhane kazılarında 10-11. yüzyıla, Panaztepe kazılarında 10-12. yüzyıla, Ayasuluk Tepesi ve St. Jean (Aziz Yuhanna) Anıtı Kazısı'nda 10-11. yüzyıla, Demre Aziz Nikalaos Kilisesi'nde 11-12. yüzyıla, Hayırsızada Batığı'nda 10. yüzyıla, Tekmezar 1 Burnu Batığı'nda 11. yüzyıla, Serçe Limanı Batığı'nda 11. yüzyıla, Cape Stoba 10-12. yüzyıl ve Kötü Burun Batığı'nda 11-12. yüzyıla tarihlendirildiği örnekler görülmektedir. Ayrıca Side Müzesi'nde 9-11. yüzyıl, Arslan Eyce Taşucu Amphora Müzesi'nde 10-11. yüzyıl, Mersin (İçel) Müzesinde 11-13. yüzyıl, Bodrum Müzesi'nde 11-13. yüzyıl ve Antalya Arkeoloji Müzesi'nde MS 9-14. yüzyıl tarih aralıklarının verildiği örneklerin olduğu da bilinmektedir (Türker, 2005, 99; Mimaroğlu, 2011: 71-73; Mimaroğlu, 2013: 121; Mimaroğlu, 2014: 455-457; Kralj vd., 2016: 48; Aslan ve Orhan, 2018: 107; Aslan ve Orhan, 2019: 92-94; Öviz, 2018: 146). Bu bilgilerin sonucunda en erken örneklerin 9. yüzyıla ve en geç örneklerin 13. yüzyıla ait olduğu ortaya çıkmaktadır.

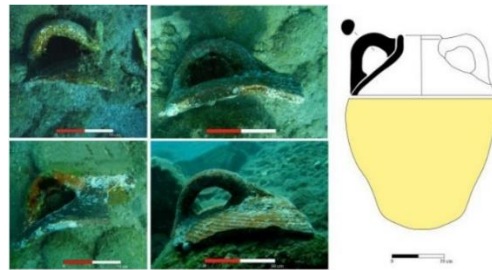
Antalya Arkeoloji Müzesi (Fig. 30), Phaselis (Fig. 31), Kekova (Fig. 32), Serçe Limanı (Fig. 33), Kadıkalesi/Anaia (Fig. 34), Ayasuluk Tepesi'nde (Fig. 35) ve Cape Stoba⁵⁶'da (Fig. 36) yer alan Ganos Tip 1 amphoralarının, batık alanında yüzeyde görülen örnekler (Fig. 37) ile karşılaştırıldığında formları tipolojik olarak aynıdır ve 11-13. yüzyıl tarih aralığına tarihlendirilmesi önerilmektedir. Kadıkalesi/Anaia kazısında ortaya çıkarılan ve Anaia Tip 3 olarak sınıflandırılan bu amphoralarında oldukça benzer olduğu görülmektedir. Kulplarında

⁵⁶ Kralj vd., 2016:46, Figure 6.

hafif farklılıkların olduğu ilk incelemelerde görülmektedir. Bu amphoraların yerel üretim olduğu düşünülmekte (Mimaroglu, 2013: 113) ve bu sebepten kaynaklı olarak kulpların farklı olduğu düşünülebilir. Daha detaylı bilgiye hamur rengi ve kil analizleri sonucunda ulaşılabilir. Batık alanında gözlemlenen çok sayıda ve aynı tipte olan bu amphoraların ilk araştırmalar ve karşılaştırmalar doğrultusunda muhtemelen Akdeniz'deki tek bir atölyenin ürünü olduğu düşünülebilir. Ticaret ürünü olarak oldukça büyük bir alana yayıldığı görülmektedir. Ayrıca bu kadar fazla sayıda olması ile de bu bölgede yoğun olarak kullanıldığı ve ticaretinin yapıldığı düşünülebilir. Henüz bu batık alanında kazı çalışması gerçekleştirilmemiştir. Kazısı gerçekleştirildiğinde tarihlendirmelerde ve buluntularda değişiklik olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Batık alanında yer alan amphoranın formu; ağzı düz, kısa ve dar olmakla birlikte koniye benzer bir boyun ve ağzın altından başlayan oval, omuzda birleşen kalın kulpları ile omuzdan itibaren genişleyen gövdesi ve dibe doğru hafifçe daralan oval bir kaideye sahip olduğu görülmektedir. Gövdeden başlayıp dibe kadar devam eden yiv bezemelerine sahiptir (Mimaroglu, 2011: 71; Öniz, 2018: 146; Aslan ve Orhan, 2018: 107).



Figür 30: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Antalya Arkeoloji Müzesi (Öniz, 2018: 146).



Figür 31: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Phaselis (Aslan ve Orhan, 2019: 94, Fig. 8).



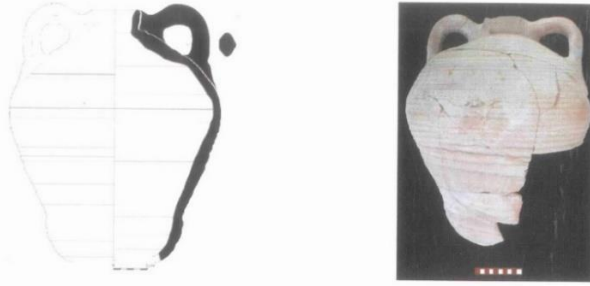
Figür 32: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Kekova (Aslan ve Orhan, 2018: 105, Fig. 7a).



Figür 33: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Serçe Limanı (Bass vd.,2004: 268, fig. 15-3).



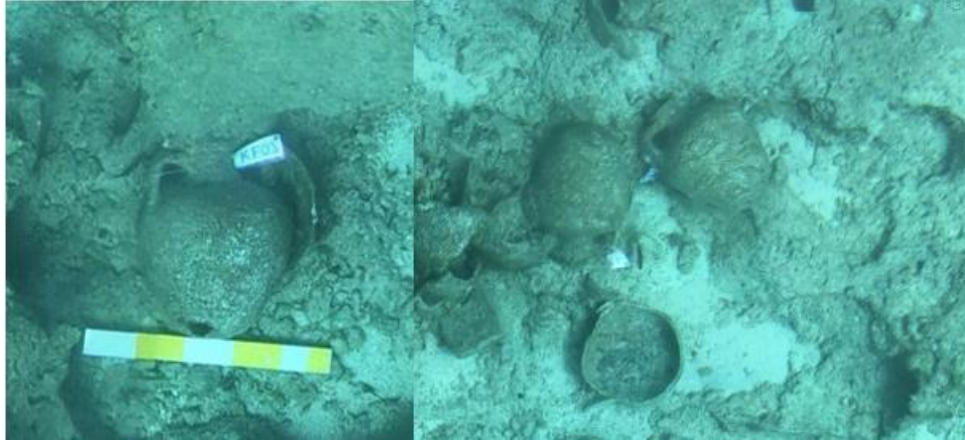
Figür 34: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Kadıkalesi/Anaia (Mimaroglu, 2013: 225).



Figür 35: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Ayasuluk Tepesi (Mimaroglu,2014: 460, Kat. No: 1).

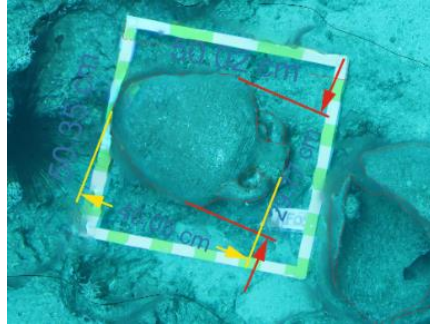


Figür 36: Ganos (Günsenin) Tip 1 örneği, Cape Stoba (Kralj vd., 2016:46, Figure 6).

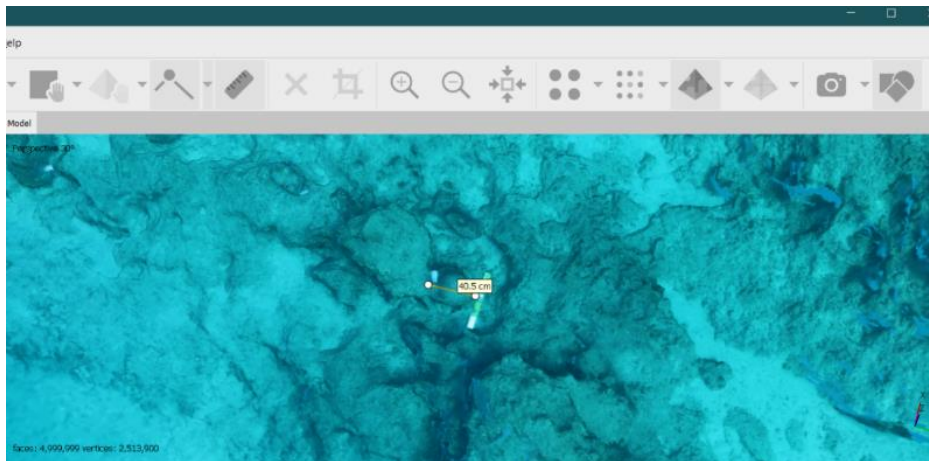


Figür 37: 3B Rekonstrüksiyon ile elde edilen ortofoto görüntüsü.

Serçe Limanı batığı kazısında bu tip amphoraların farklı boyut ve hacimlerde olduğu tespit edilmiş ve üç farklı grup olarak belirtilmiştir. Birinci grup; 9-14 litre, ikinci grup; 12-15 litre ve üçüncü grup; 17-19 litrelik hacme sahip olduğu görülmektedir. Kötü Burun ve Hayırsızada örnekleri ile ortalama yüksekliklerinin 30-40 cm olmasıyla birlikte bazı örneklerinin 28 ve 53 cm aralığında değişebildiği de görülmektedir (Türker, 2006: 61; Mimaroğlu, 2011: 72). İlk gözlemler ve fotogrametrik ölçümler sonucunda alanda yer alan amphoraların yüksekliği 40 cm eni ise yaklaşık 30 cm olarak görülmektedir (Fig. 38, 39). Kazı çalışması gerçekleştirildikten sonra daha net ve detaylı bilgilere ulaşılabilir.



Figür 38: CorelDraw yazılımı ile ortofoto üzerinden eserin çizim ve ölçümü.

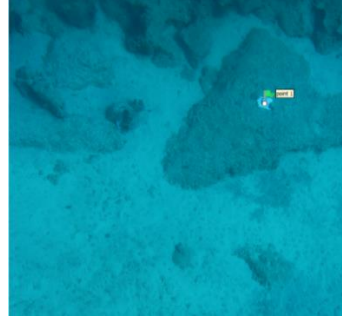


Figür 39: Metashape yazılımı üzerinde eserin ölçümü.

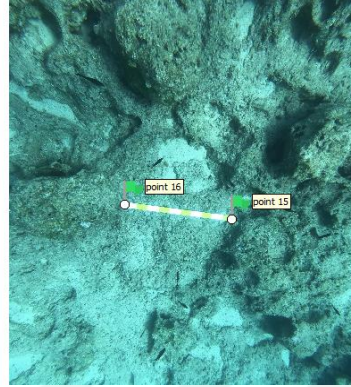
Batık alanını ve içerisinde yer alan arkeolojik varlıkları, eldeki imkânlar doğrultusunda DSM metodu ve ölçekleme için eşeller alana yerleştirilerek bir arada kullanılan yöntemden veriler elde edilmiştir. DSM metodunun kısa süreli çalışmaya uygun olmadığı bilinse de kalibre edilmiş (Sony Alpha A6300) kameradan elde edilen görüntüler ile aksiyon kamerasından (GoPro Hero 7) elde edilen görüntülerden 3B modelleme ve coğrafi referanslama işlemleri yapılmış ve test edilmiştir.

Bu alanda verilerin toplanması için öncelikli olarak alanda yerel bir koordinat ağı kurulmuştur. Bu koordinat ağı; çiviler, numaralandırılmış kağıtlar ile belirlenen alanlara yerleştirilerek oluşturulmuştur. Yerel koordinat ağı, dalgıçlar tarafından oluşturulduktan sonra veri noktaları arasındaki ölçüleri, her bir noktadan diğerine olacak şekilde DSM metoduna uygun olarak ölçüleri şerit metrelerin yardımı ile beyaz plastik plaka üzerine kayıt edilmiştir. Ölçümlerin toplanması işleminin ardından dalgıçlar Fotogrametri işlemi için sualtı fotoğraf kameralarını kullanarak alanın fotoğraf çekimini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen bu fotoğraf çekiminde GoPro Hero 7 ve Sony Alpha A6300, aksiyon-fotoğraf kameraları kullanılmıştır. Farklı iki fotoğraf makinesinden elde edilen bu görüntüler, 2 farklı klasörde toplanmıştır ve işlenmesi için düzenlenmiştir. Oluşturulan bu fotoğraf setlerinden bir tanesi 205 adet fotoğraf, diğeri ise 187 adet fotoğraf içermektedir. Bu çalışmada aynı işlemler yapılarak 2 farklı kameraya göre modelleme yapılmış ve bu modellemeler aşağıda verilmiştir.

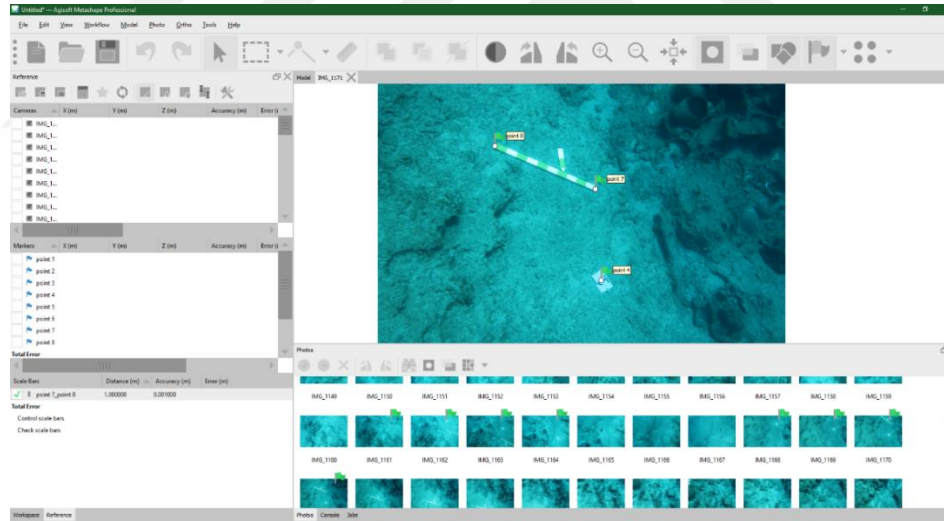
Yukarıda bahsi geçen bu fotoğraflardan oluşan veri setleri hazırlanması ve bu işlemin bitmesinin ardından verileri işleyebilmek için Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak alanın 3B modelleme/rekonstrüksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yazılım içerisinde yer alan Yığın'a (Chunk), fotoğrafları sürükleyip bırak ile veya iş akışı (Workflow) menüsü altında yer alan Fotoğrafları Ekle (Add Photos) seçeneği ile aktarılmıştır. Fotoğraflar yüklendikten sonra kontrol noktalarının bulunduğu yerler belirlenir ve fotoğraflar üzerinde işaretleyiciler (marker) yardımı ile kontrol noktaları belirtilmektedir (Fig. 40, 41, 42). Referans panelinde görünen bu noktaların/işaretleyicilerin aktif olanları kontrol noktası olarak yazılım içerisinde kabul edilirken aktif olmayan noktalar/işaretler referans noktası olarak kabul edilmektedir. Söz konusu bu işaretleyiciler sayesinde fotoğrafların daha doğru bir şekilde hizalanması amaçlanmaktadır.



Figür 40: Kontrol noktalarının Metashape yazılımında işaretleyiciler (marker) ile gösterilmesi.



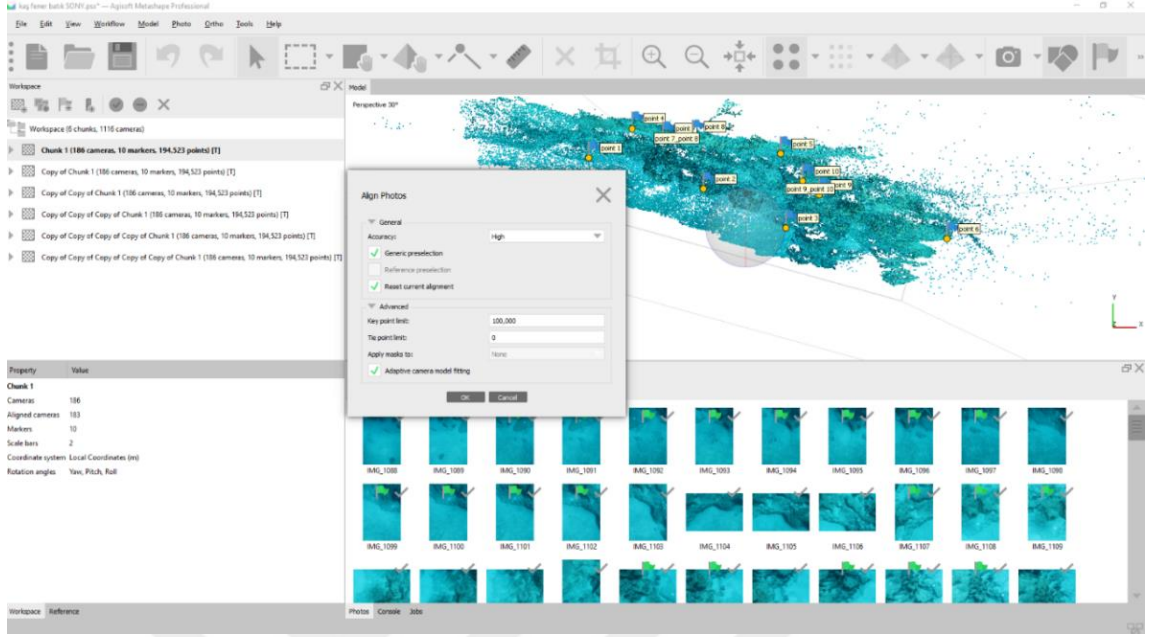
Figür 41: Referans noktaları ve sanal eşel oluşturmak için kullanılan işaretleyiciler.



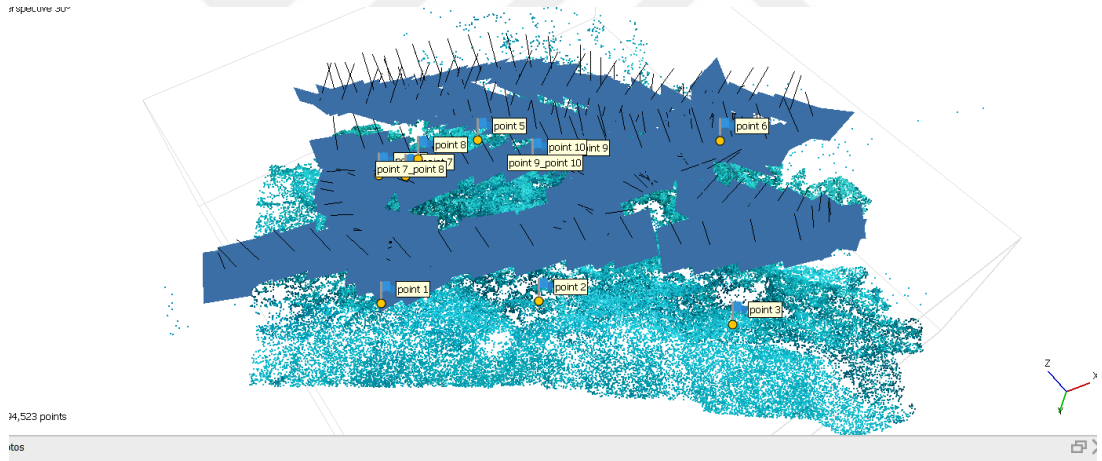
Figür 42: Kontrol, referans noktaları ve sanal eşel oluşturmak için işaretleyiciler (marker) kullanarak belirtme.

Yukarıda bahsedilen işlemlerden sonra modelleme için sırasıyla yapılacak olan birkaç adım vardır. Bu adımlardan ilki olan Fotoğrafları Hizalama (Align Photos), düzenlenen fotoğrafların yüklenmesi, işaretleyicilerin belirlenmesinin ardından ilgili menüden seçerek uygulanmaktadır (Workflow>Align Photos) (Fig. 43). Karşımıza çıkan ilgili pencereden çeşitli ayarlar yapılabilmektedir. Çalışmamızda Fotoğraf Hizalama (Align Photos) aşaması için High ayarları ve Key Point limit için 100.000 değeri seçilmiştir. Yazılım, fotoğraflar hizalandıktan sonra kameraların açısını, bulunduğu konumu ve fotoğrafların nasıl hizalandığını göstermektedir (Fig. 44, 45). Fotoğraf hizalama işlemi bir kez bittikten sonra bu aşamada

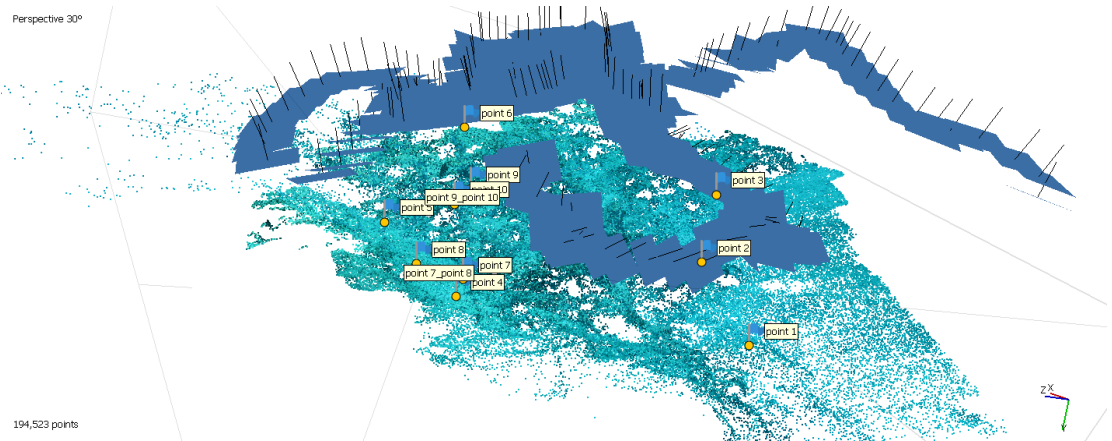
işaretleyiciler (marker) kullanılarak sanal eşeller, işaretleyiciler arasındaki uzaklıkların girilmesiyle oluşturulmakta ve modelin bu verilere göre ölçeklenmesi sağlanmaktadır.



Figür 43: Align Photos aşaması.

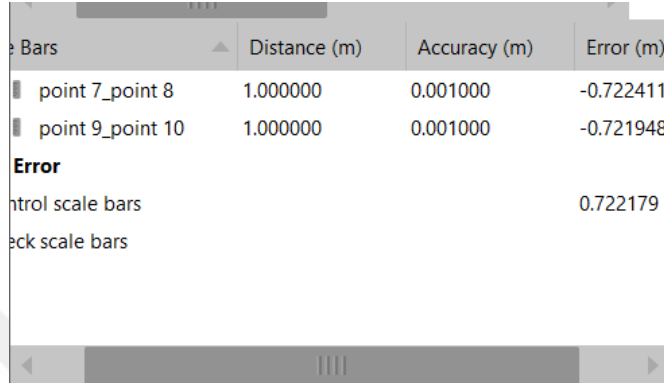


Figür 44: Align Photos işlemi ardından görülen kameraların 1. açısı.



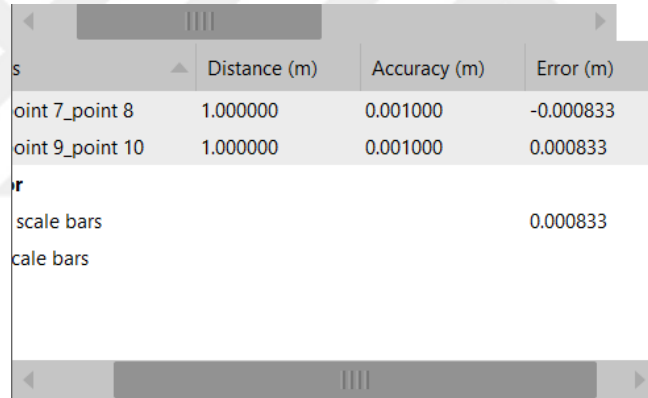
Figür 45: Align Photos işlemi ardından görülen kameraların 2. açısı.

Sanal eşeller oluşturulduktan sonra mevcut olan kameraların, daha iyi hizalanabilmesi için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Optimizasyon işlemi için Araçlar menüsü altında Kameraları Optimize Et (Tools> Optimize Cameras) seçeneği seçilir ve işlem başlatılır. Bu işlem sonucunda mevcut hata oranının önemli oranda düştüğü Referans Sekmesinde açıkça görülmektedir (Fig. 46-47). Kameraların optimize edilmesi sayesinde alınabilecek ölçümlerin ve oluşturulacak sanal eşellerin daha doğru ve kesin ölçülere sahip olması amaçlanmaktadır.



	Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
point 7_point 8	1.000000	0.001000	-0.722411
point 9_point 10	1.000000	0.001000	-0.721948
Error			
ontrol scale bars			0.722179
eck scale bars			

Figür 46: Align Photos işleminden sonra hata oranı/durumu.

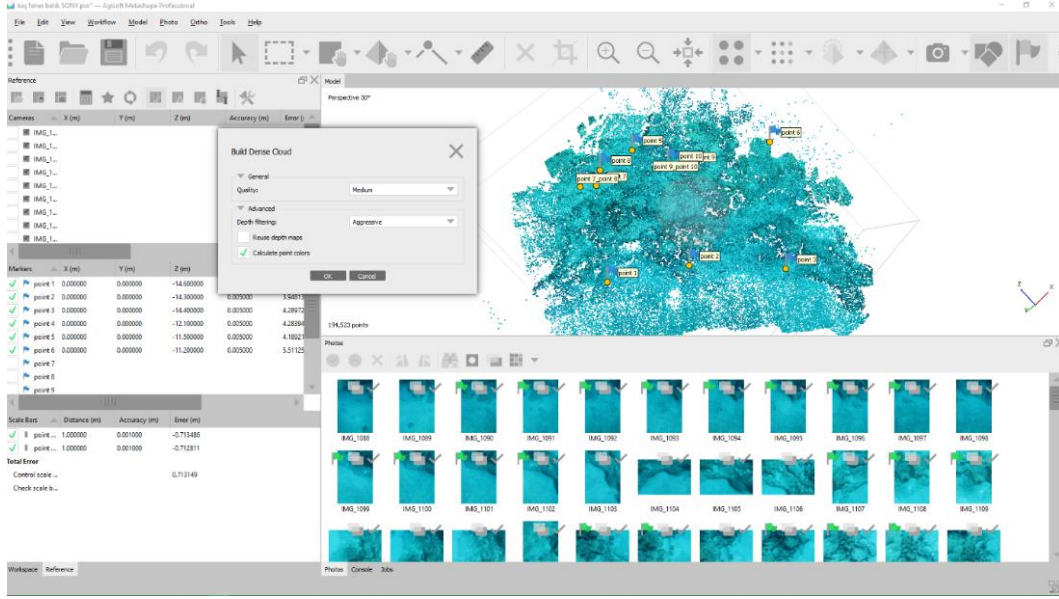


	Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
oint 7_point 8	1.000000	0.001000	-0.000833
oint 9_point 10	1.000000	0.001000	0.000833
Error			
scale bars			0.000833
cale bars			

Figür 47: Kamera optimizasyonu ile düşen hata oranı/durumu.

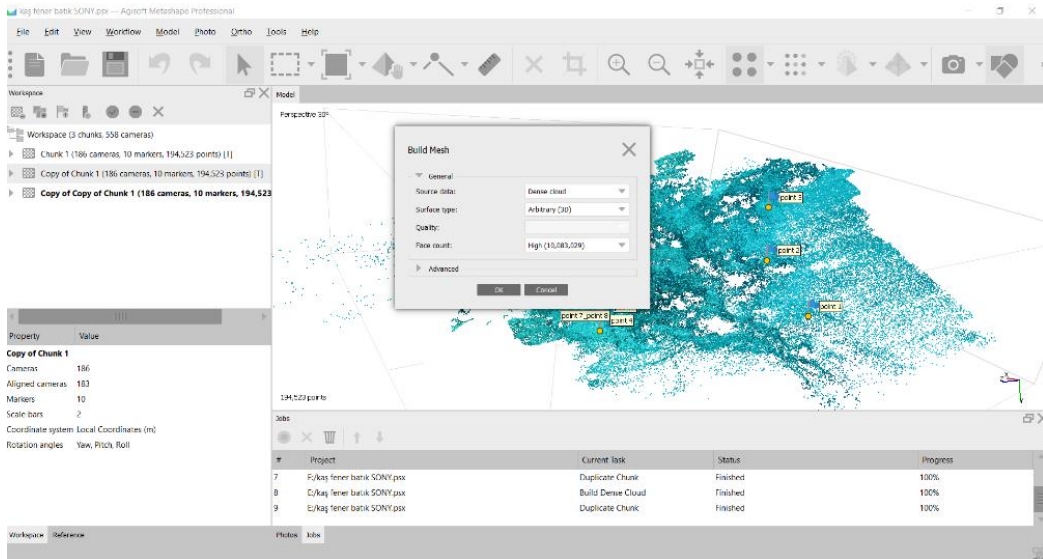
Fotoğraf hizalama (Align Photos) işlemi bittikten sonra hizalanmış fotoğraflar artık ikinci aşama olan Build Dense Cloud için hazır duruma gelmiştir. Build Dense Cloud aşamasıyla oluşacak olan nokta bulutu 3B’lu modelleme işlemi için oldukça gereklidir. Bu aşamada noktaların birbirine bağlanması ile meydana gelecek olan poligonlar⁵⁷ sayesinde, 3B’lu nesne rekonstrüksiyonu için gerekli olan hesaplamaları yazılım otomatik olarak gerçekleştirmektedir. İlgili menüden (Workflow>Build Dense Cloud) seçilerek aşama başlatılır (Fig. 48). Bu aşamada bilgisayarın sahip olduğu donanımdan ötürü Medium ayarları çalışmamızda seçili olarak devam edilmiştir.

⁵⁷ Poligonlar veya çokgenler, en küçüğü üçgendir ve mesh oluşumu için gereklidir.



Figür 48: Build Dense Cloud aşaması ile elde edilen nokta bulutu.

Nokta bulutu oluşturulduktan sonra 3B modellemesinin oluşacağı Build Mesh aşamasına geçilir ve ilgili menüden seçilerek bu aşama başlatılır. (Workflow> Build Mesh) (Fig. 49) Build Mesh aşaması da bittikten sonra karşımıza 3B’lu bir modelleme çıkmaktadır. Bu modellemede, 3B’lu nesne rekonstrüksiyonu; oluşturulan poligonların bağlanması ve bir nesneyi oluşturan tepe noktaları, kenar ve yüzeylerin birleşimiyle “mesh”⁵⁸ olarak tabir edilen bilgisayar ortamında oluşturulmuş nesnelerdir. Mesh’lerin kütleleri yoktur ve yüzler, kenarlar veya tepe noktaları sayesinde şekilleri değiştirilebilir. Ayrıca her köşe noktasında x,y,z, koordinat bilgilerini de içermektedir⁵⁹.

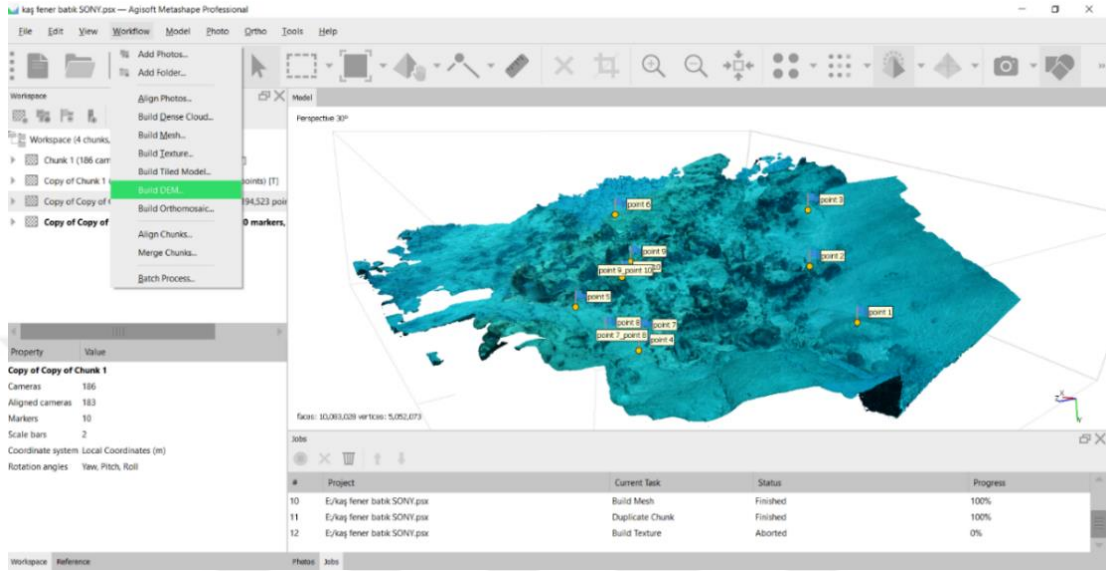


Figür 49: Build Mesh işleminin başlatılmasıyla nokta bulutundan mesh oluşturma seçenek ekranı.

⁵⁸ Mesh: Ağ veya Kafes olarak tercümesi yapılabilir.

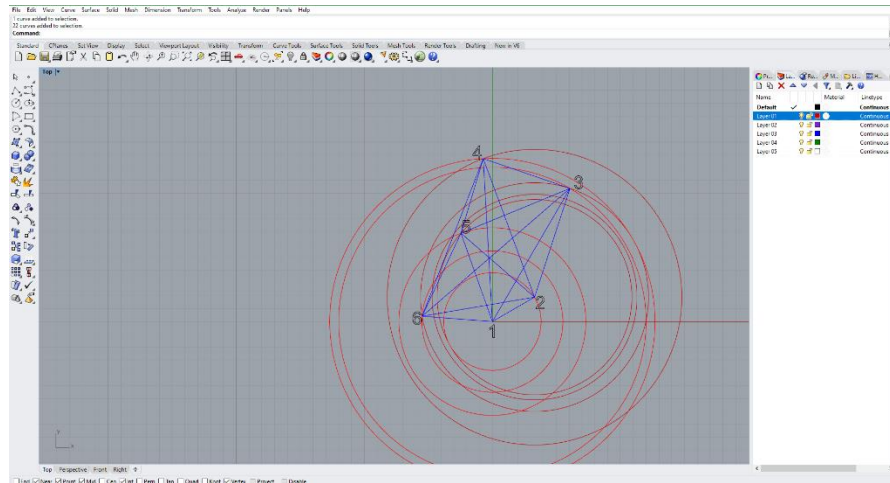
⁵⁹ Ayrıntılı bilgi için bkz.: Autodesk (2020). Erişim adresi: knowledge.autodesk.com, erişim tarihi: 20.10.2020; Conceptartempire. (2020). Erişim adresi: conceptartempire.com/polygon-mesh/, erişim tarihi: 20.10.2020).

Mesh işlemi bittikten sonra oluşan alanın rekonstrüksiyonuna son işlem olarak gerçek dünya dokusunu eklemek gerekmektedir. Bunun için Build Texture işlemi yine aynı menü altında (Workflow>Build Texture) seçilir ve başlatılır (Fig. 50). Gerçek dünya dokusunun da eklenmesiyle modelleme hazır duruma gelmiştir. Kullandığınız bilgisayarın donanımına bağlı olarak bu işlemlerin süresi değişkenlik gösterebilmektedir.

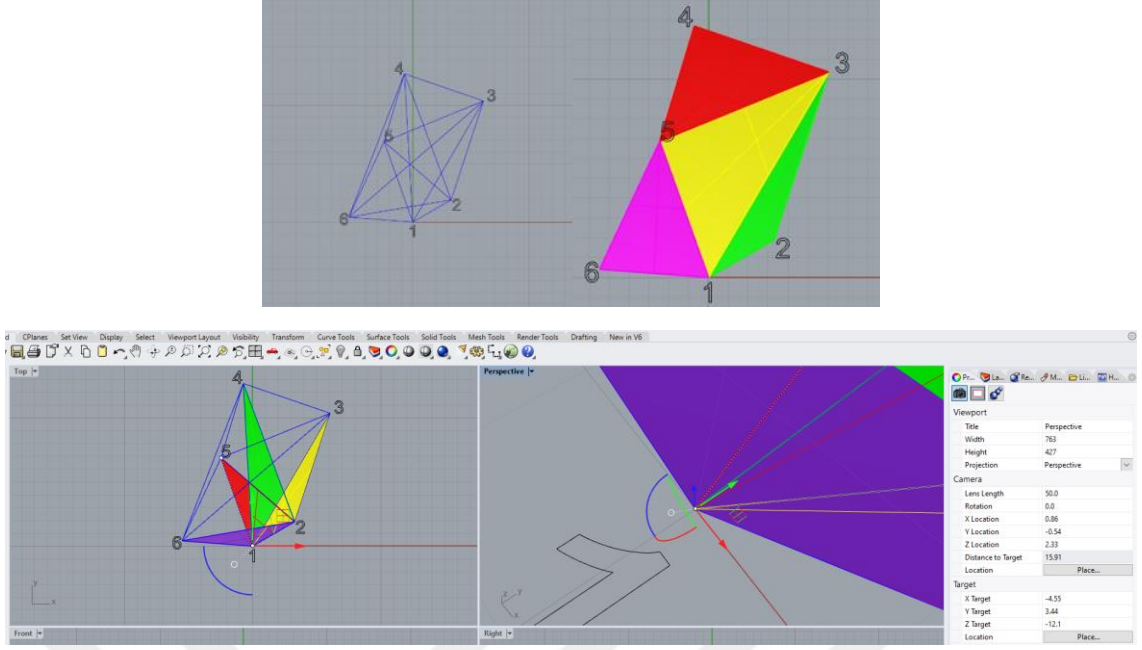


Figür 50: Gerçek dünya dokusu eklemek için ilgili menüden Build Texture komutu kullanımı.

Build Texture işleminden sonra CAD yazılımlarından biri olan Rhinoceros 3D ile coğrafi referanslama işlemi için bilinen ölçüler ile işlem yapılır. Bu aşamada kurulmuş olan yerel koordinat ağındaki kontrol noktalarının derinlikleri ve birbirlerine olan mesafe verileri yazılıma girilerek üçgenler oluşturulur. Daha sonra bu ölçüm bilgileri, Metashape’de Referans Panelinde ilgili alanlara veri olarak girilir ve coğrafi referanslama işlemi gerçekleştirilmiş olur (Fig. 51, 52, 53, 54). Model gerçek dünya koordinatları ile bağlanır.

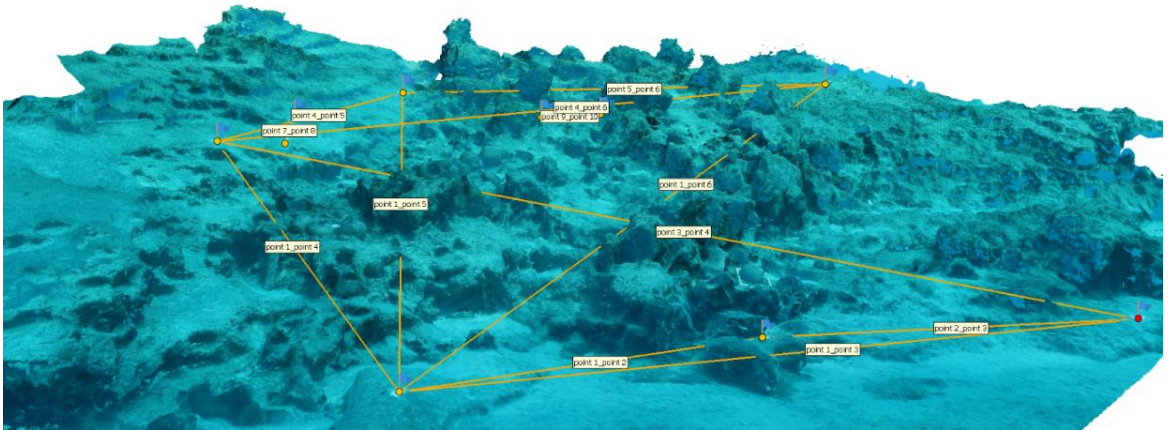


Figür 51: Coğrafi Referanslama için alınan uzunlukların CAD yazılımında işlenmesi.

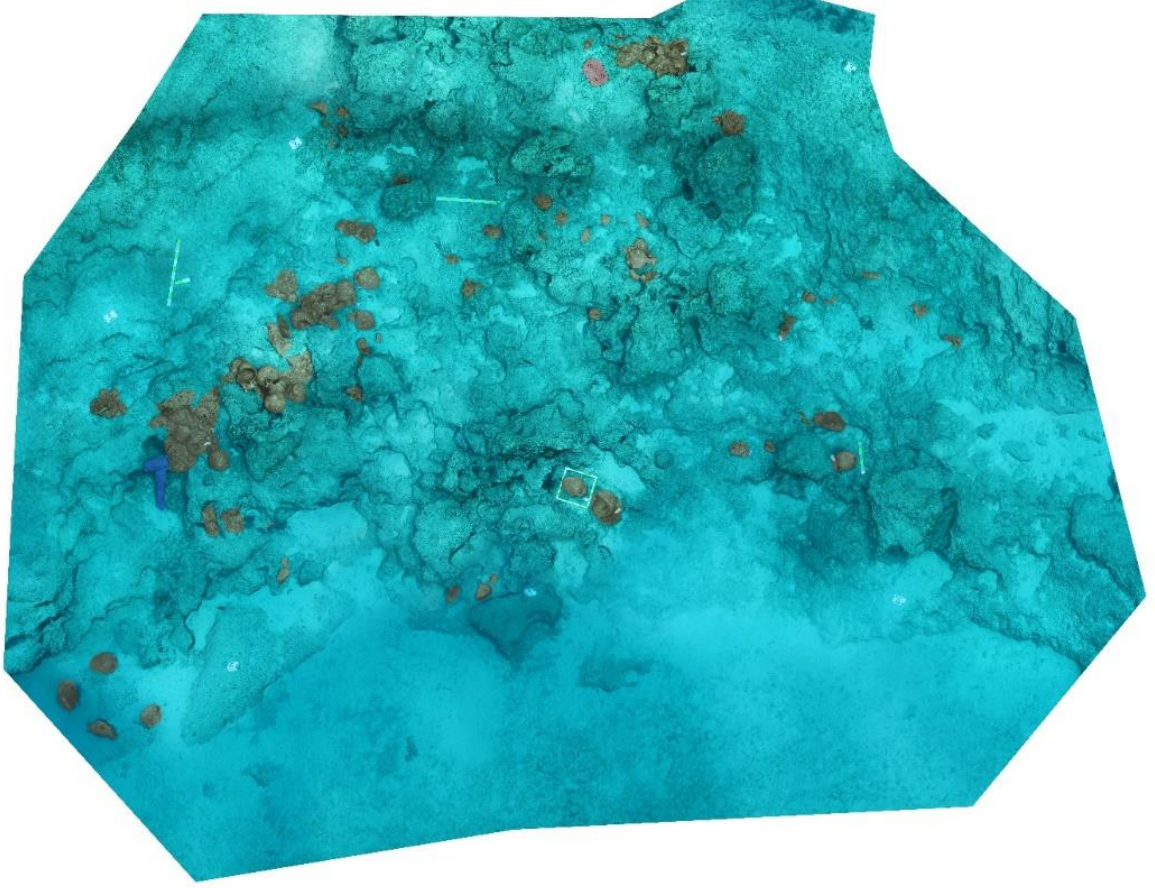


Figür 52, 53, 54: Alınmış ölçülerin CAD (Rhinoceros 3D) yazılımı aracılığıyla işlenmesi.

Coğrafi referanslama ile birlikte Metashape yazılımı içerisinde ilgili kontrol noktaları arasındaki mesafeler ile Referans Paneli içerisinde oluşturulan sanal eşellerle birlikte yerel koordinat ağını ortaya çıkarmaktadır (Fig. 55). Bu işlemlerden sonra istenilen formatlarda farklı yazılımlar aracılığı ile çeşitli çıktılar alabiliriz (Metashape, Rhinoceros, 3H Recorder, Cloud Compare, vb.). Workflow menüsü içerisinde yer alan Build Orthomosaic ile ortofoto (orthophoto)'lar üretilmektedir. Bu ortofotolar aslında yüksek kaliteli foto-mozaiiklerdir (Yamafune, 2017a: 523). Bu sayede alanın çizimi ve haritalandırılmasını rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Sony ve Gopro'dan elde edilen fotoğraflar sayesinde oluşturulan 3B modelleme-alan rekonstrüksiyonlarının görünümü ve ortofoto ürünleri alınmıştır (Fig. 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68).



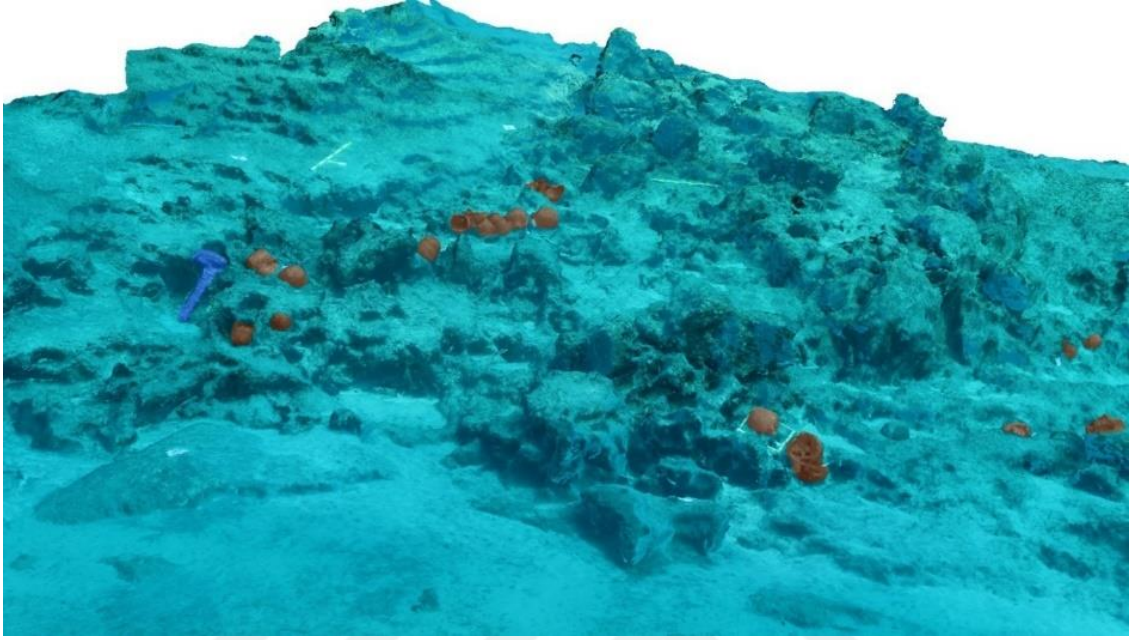
Figür 55: Yazılım (Metashape) içerisindeki kontrol noktalarının dijital gösterimi.



Figür 56: Batık alanı ortofoto - Görünüm 1.



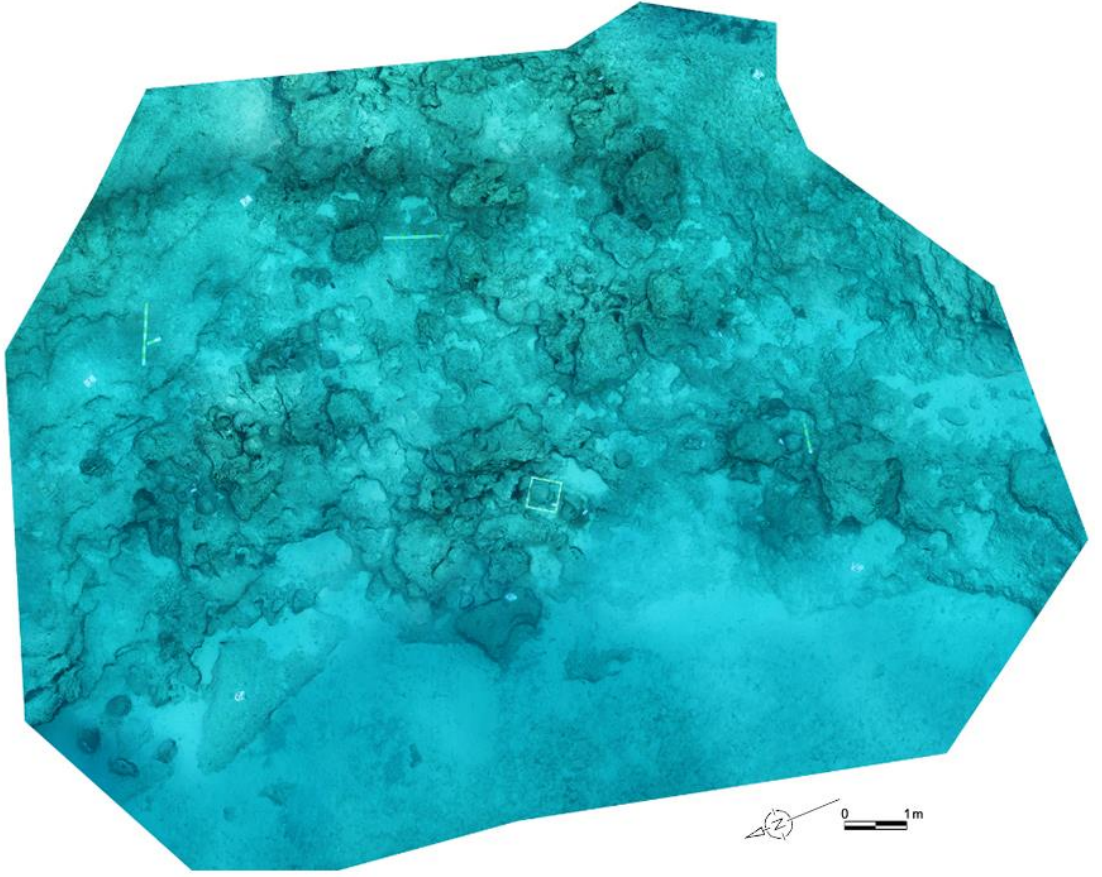
Figür 57: Alanın ortofotosu, Görünüm 2 - Sony Kamera.



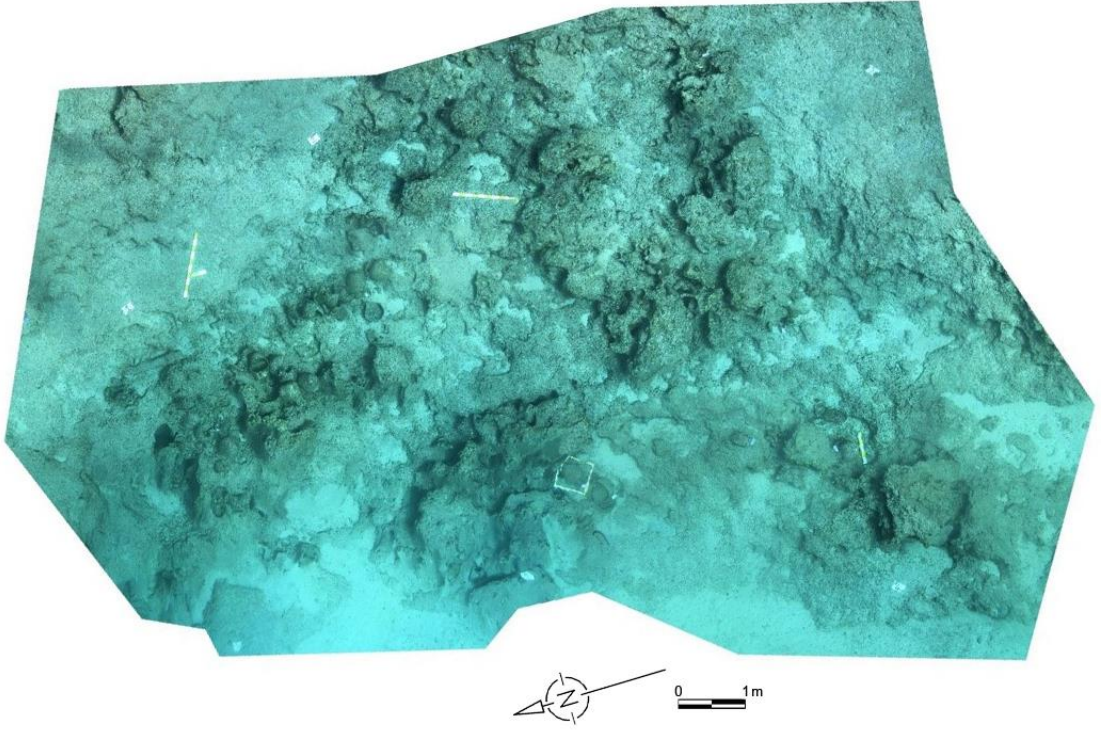
Figür 58: 3B model Rekonstrüksiyonu -Metashape içerisinde 1. görüntü, Sony Kamera.



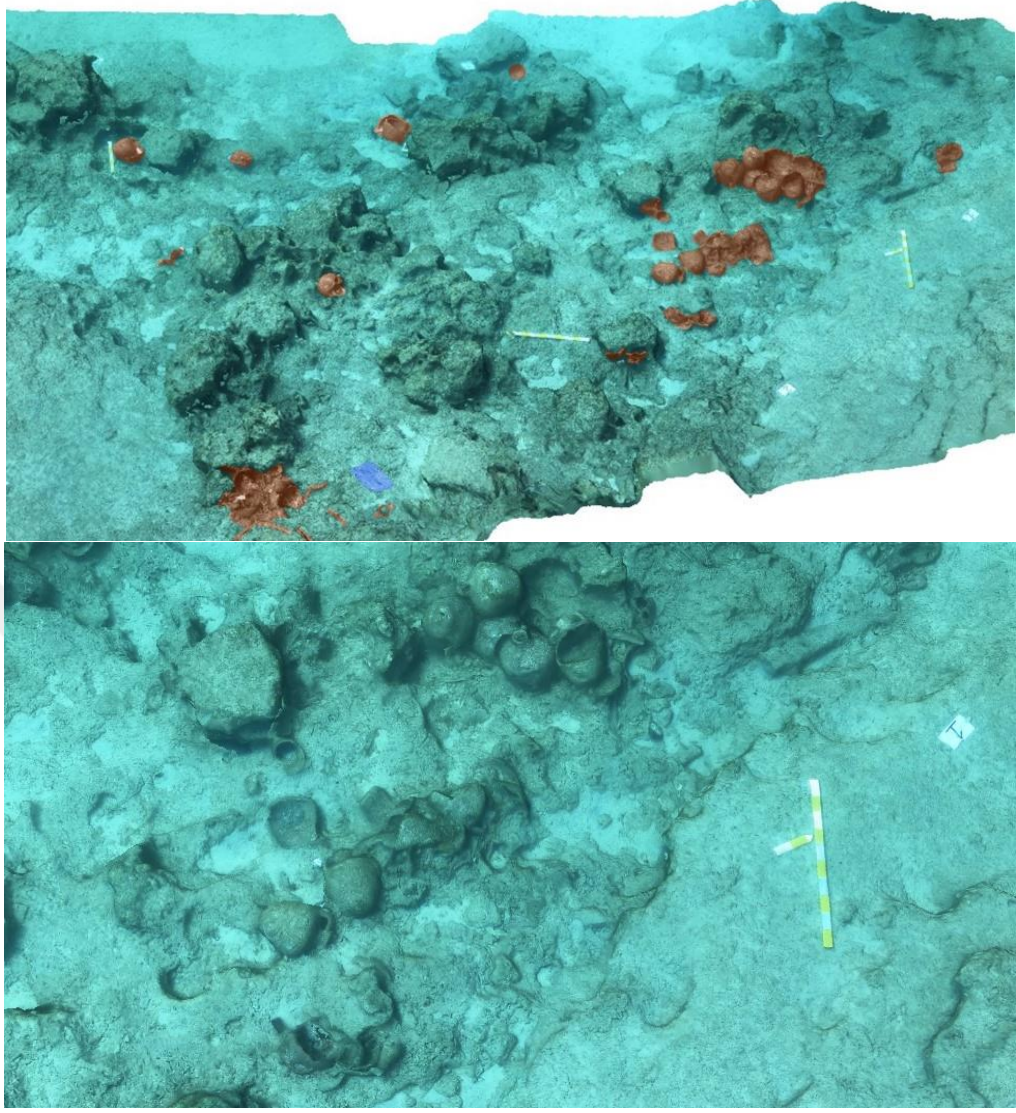
Figür 59: 3B model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 2. görüntü, Sony Kamera.



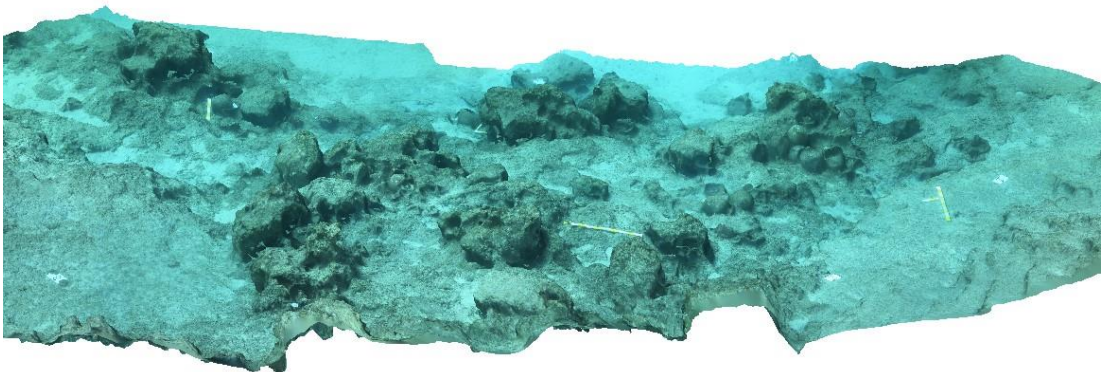
Figür 60: Sony Fotoğraf Makinesinden elde edilen ortofoto.



Figür 61: GoPro Aksiyon Fotoğraf Makinesinden elde edilen ortofoto.



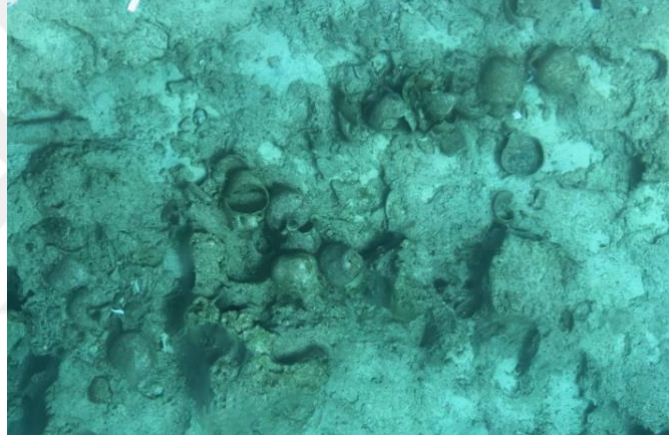
Figür 62, 63: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape, GoPro.



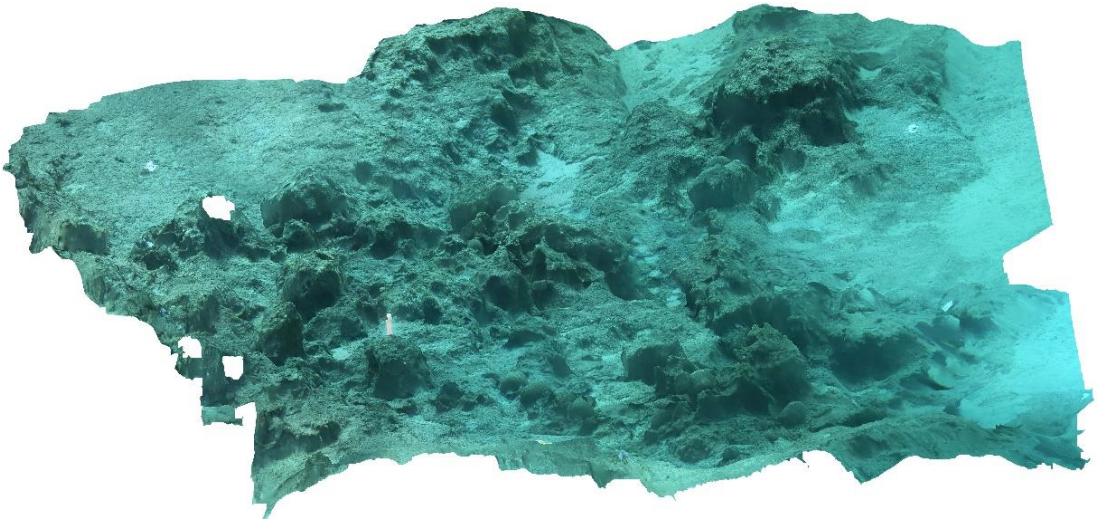
Figür 64: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 1. görüntü, GoPro.



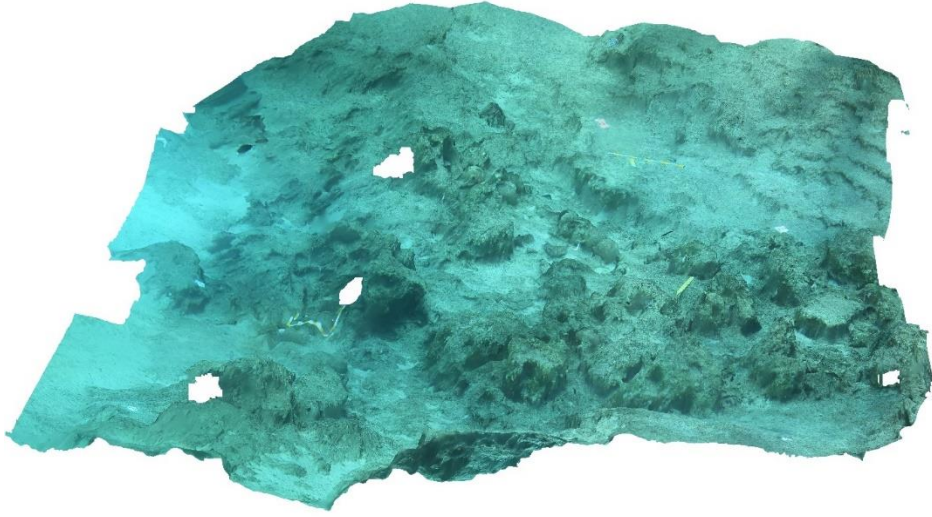
Figür 65: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 2. görüntü, GoPro.



Figür 66: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde detay - GoPro.

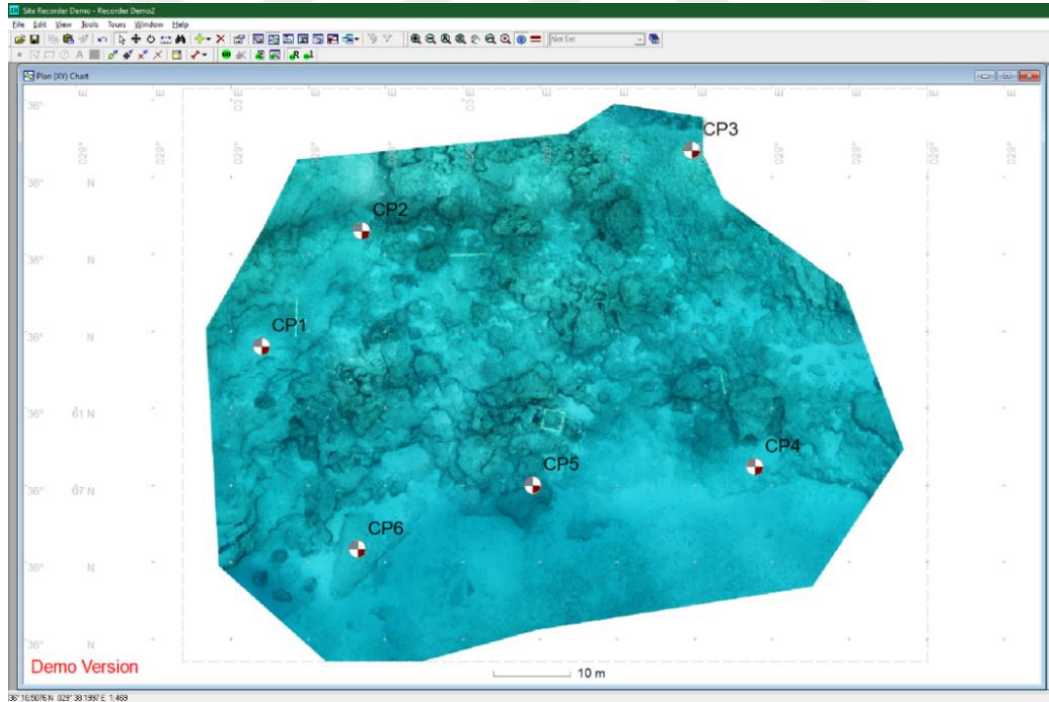


Figür 67: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 3. görüntü, GoPro.



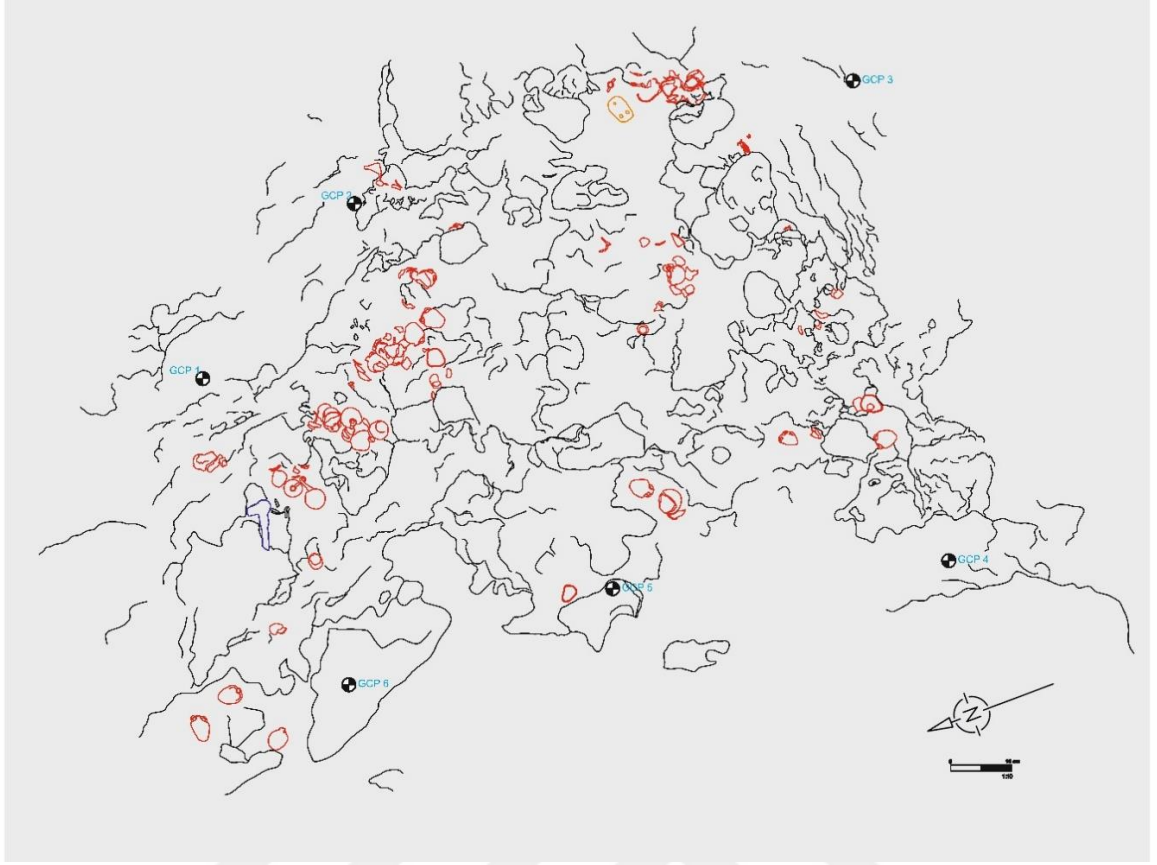
Figür 68: Üç boyutlu (3B) model Rekonstrüksiyonu, Metashape içerisinde 4. görüntü, GoPro.

Coğrafi referanslama ve haritalama için kullanılan yazılımlardan 3H Site Recorder içerisine aktarılan ortofoto, yazılım içerisine aktarılarak çeşitli araçlar (adding point, image basemaps, vb) yardımı ile içerisinde koordinat ağı oluşturulur. Kontrol noktaları eklenir, ölçümler ve ölçeklemeye imkân veren bu yazılım üzerinde coğrafi koordinatlar da görülebilmektedir (Fig. 69).

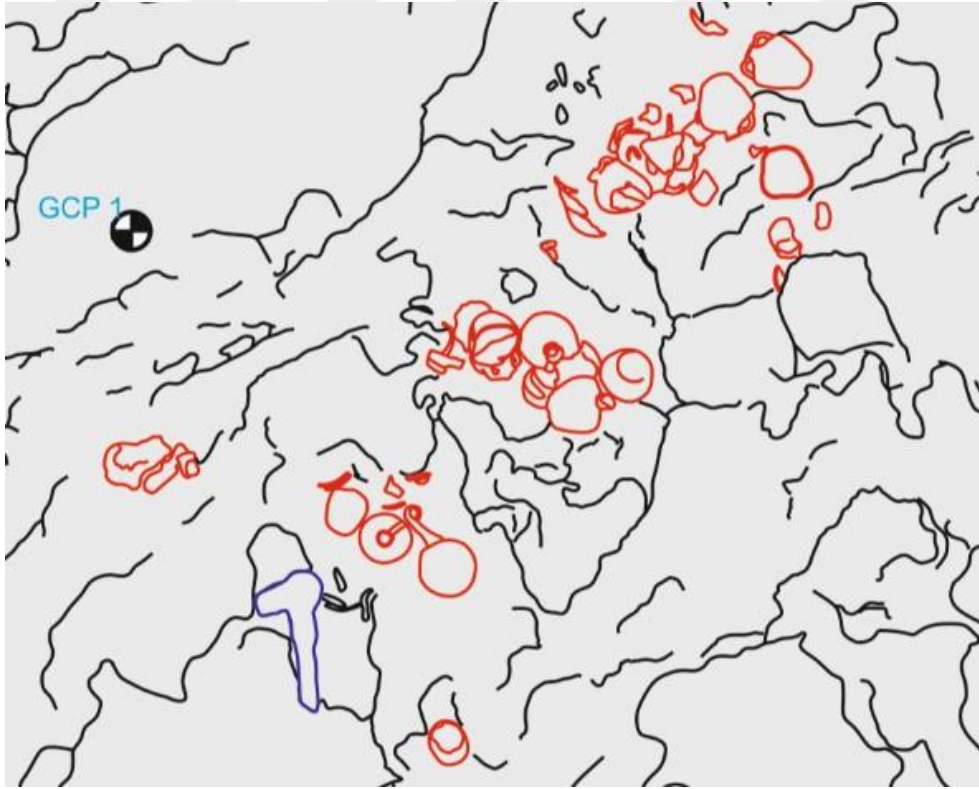


Figür 69: 3H Site recorder ile alanın haritalandırılması.

Tüm bu işlemler bittikten sonra elimizde alanın haritası ve 3B modellemesi ile birlikte yüksek çözünürlüklü foto mozaikle alanda bulunan eserlerin tarihlendirilmesi ve çizim gibi işlemleri gerçekleştirilebilmektedir (Fig. 70, 71).



Figür 70: Alandaki eserlerin ortofoto üzerinden çizimi.



Figür 71: Çizimden detay.

Günümüzde Sualtı Arkeologları tarafından kullanılan güncel metodlar, fotogrametri yazılımları ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları ile arkeolojik alanın hızlı bir planını ortaya çıkarmaya yaramaktadır. Üstelik bunu yaparken modelleme ile birlikte coğrafi referanslı ve 1:1 ölçekli de olmaktadır. Bu arkeolojik alanların oluşum süreçleri, gelecekte bu alanlara ne olacağı, izleme ve koruma planları geliştirilmesi için imkân sunmaktadır (Aragon vd., 2017: 60). Cloud Compare yazılımı bizlere bu noktada yardım eden bir 3B nokta analiz programıdır. Kısaca iki nokta bulutunu karşılaştırır ve farklı renklerle farklılıkları ortaya koyan, sapma analizini gerçekleştirir. Alanı analiz etme, izleme ve koruma faaliyetleri için kullanılan bu program, Metashape programının desteklediği farklı formatlara (ASTM E57, ASPRS LAS) uygundur (Aragon vd., 2017: 60). Üstelik bu formatlarla aktarılan nokta bulutu coğrafi referans verileri içeriyorsa doğru ölçüde ve doğru konumda yazılım içerisinde açılmaktadır. Yapılan bu sapma analizi, hem kısa vadedeki hem de uzun vadedeki çalışmalar için oldukça yararlıdır (Aragon vd., 2017: 60). Bu çalışmada 2 veri setinden elde edilen Nokta Bulutu ile devam eden yıllarda yapılabilecek bilimsel faaliyetlere oldukça yararlı olacağı görülmektedir.

3.4.2. Osmanlı Dönemi Batığı Örneği

Doç. Dr. Hakan Öñiz'in başkanlığını yaptığı Akdeniz yüzey araştırmaları sırasında. Antalya ilinin Demre ilçesi Kekova adasının yakınlarında bulunan bölgede Karaada olarak geçen adaya oldukça yakın bir alanda batık bulunmuştur. Bölgede 32-34 metreden başlayıp 37 metreye kadar uzanan bir alanda bulunan çapalar, toplar ve gemiye ait olduğunu düşündüğümüz çeşitli demir parçaları görülmektedir. Bu arkeolojik varlıklar oldukça büyük bir alana yayılmış durumdadır. Yüzeyde rahatlıkla görülebilen 3 adet büyük çapa, 6 adet top ve çok sayıda demir parçalar bulunmaktadır (Fig. 72, 73, 74). Yüzeyde görülen bu çapaların, Osmanlı Dönemi'ne ait "iki tırnaklı, ahşap çipolu demir çapa" olduğu düşünülmekte (Fig. 75) ve Osmanlı terminolojisinde "lengurte" olarak bu çapaların geçtiği bilinmektedir (Sütçüoğlu, 2018: 233-236). Bahsi geçen bu eserlerin Osmanlı Dönemine ait olduğu yapılan ilk araştırmalara göre değerlendirilmiştir. Alanda tespit edilen topların da Osmanlı Dönemine ait olduğunu ve Alanya-Osmanlı batığında görülen toplara benzediği gözlemlenmiştir (Öñiz, 2019: 74-78). Tüm bu unsurlar göz önüne alındığında, 17-19. yüzyıl Geç Osmanlı Dönemine tarihlendirilmesi düşünülen bir batıktır ve alanda henüz bir kazı çalışması gerçekleştirilmemiştir. İlk izlenimler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Alanda kazı çalışmaları gerçekleştirildikten sonra tarih ve daha detaylı bilgilere ulaşılabilecektir.



Figür 72: İki tırnaklı çapa.



Figür 73: Osmanlı Topları.



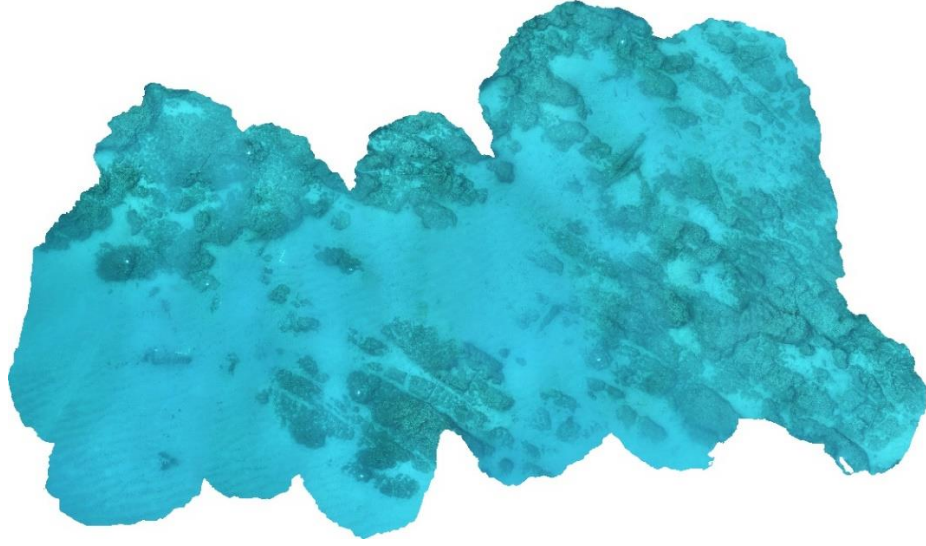
Figür 74: Demir parçaların bulunduğu bölümden bir görüntü.



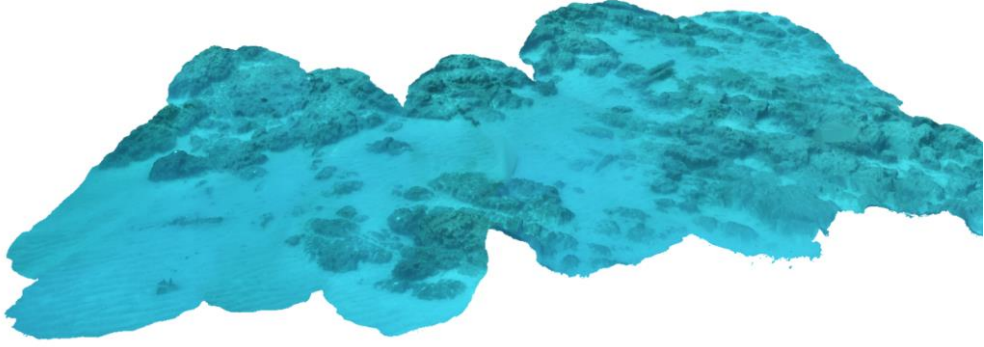
Figür 75: Demir parçaların bulunduğu bir başka bölümden görüntü.

Bölgede görüntüleme ve belgeleme için Fotogrametri kullanılmıştır. Öncelikle gerekli olan malzemeler hazırlanmış ve belgeleme işleminin nasıl gerçekleştirileceği belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak, alan mümkün olduğunca çeşitli etkenlerden (posidonia, vb.) temizlenmiş ve toplam 10 ayrı kontrol noktası belirlenen alanlara, çiviler yardımıyla yerleştirilmiştir. 1’den 10’a kadar üzerine numaralandırılmış kağıtlar ile Yerel Koordinat Ağı kurulmuştur. Alana ölçümler ve ölçüm verilerinin hata oranını azaltmak, doğruluğu arttırmak ve ölçekleme için eşeller de yerleştirilmiştir. Direct Survey Method (DSM) ve Eşellerin (Scale Bar) bir arada kullanıldığı yöntem bu alanda kullanılmıştır. Her bir veri noktasından bir diğerine ölçümler mezuralar kullanılarak kalem ile slide’lar üzerine not alınarak elde edilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra, alanda önce dalgıçlar tarafından su altı fotoğraf kameraları ile Fotogrametri için gerekli olan fotoğraf çekimi yapılmıştır. Alanda 2 günde çekilen fotoğraflardan iki farklı veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setlerinden bir tanesi Sony ile (1276 fotoğraf) bir diğeri GoPro 7 (1078 fotoğraf) aksiyon kamerasıyla elde edilmiştir.

Hazırlanan veri setleri sonucunda fotoğraflar Agisoft Metashape yazılımında 3B modelleme rekonstrüksiyonu ve ortofoto üretimi için işlenmiştir. Boş kalan bölgelerin yazılım tarafından otomatik olarak alanın topografik dokusuna uygun olarak doldurulmuştur. Alandan alınmış ölçüler, oluşturulmuş yerel koordinat ağı ile DSM metodunun uygulanması sonucunda alanın coğrafi referanslı bir 3B modeli ve rekonstrüksiyonu elde edilmiştir (Fig. 76, 77, 78, 79). Bu modelleme ve alan rekonstrüksiyonun elde edilmesinde Kaş Fener Batığı’nda uygulanan tüm adımlar sırasıyla aynı şekilde bu batık üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar; Align Photo, Optimize Camere, Build Dense Cloud, Build Mesh, Build Texture ve Coğrafi Referanslama’dır.



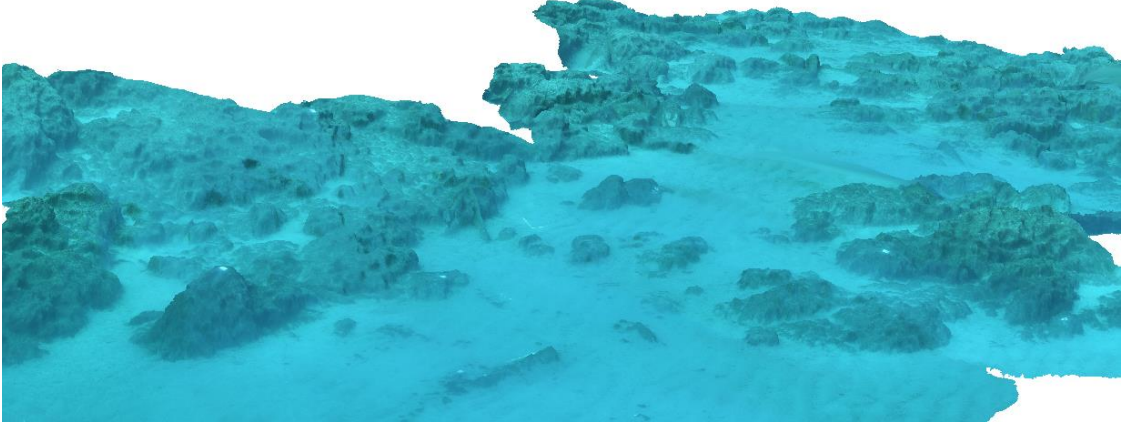
Figür 76: Batık Alanı ortofoto.



Figür 77: Batık alanının rekonstrüksiyonu/modellemesi.



Figür 78: Batık alanının rekonstrüksiyon/modellemeden 1. görüntü.



Figür 79: Batık alanının rekonstrüksiyon/modellemeden 2. görüntü.

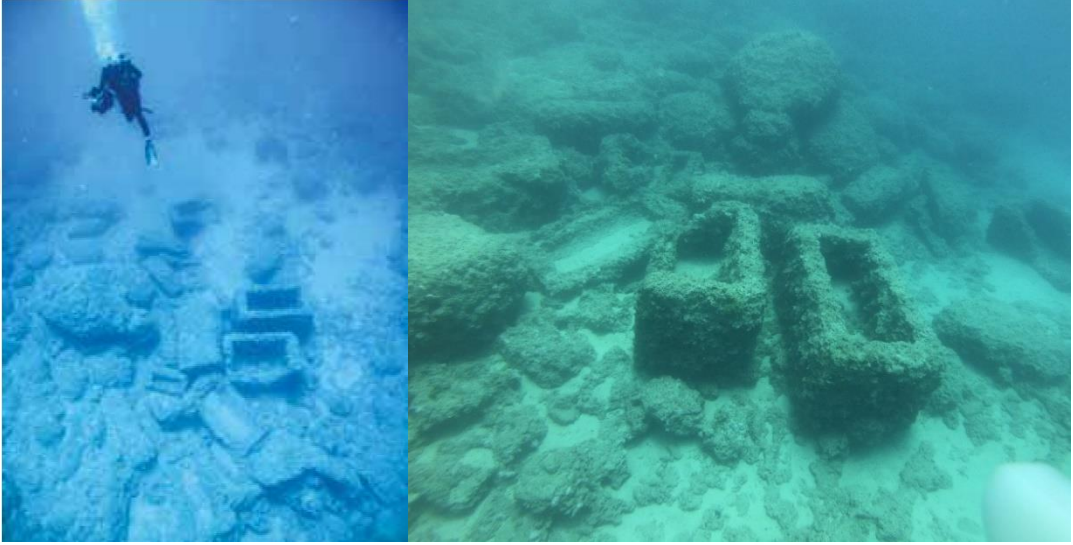
3.4.3. Şıldanlar Lahit Batığı Örneği

Su altında arkeolojik alanların belgelenmesinde teknolojik cihazlar ve yazılımlardan oldukça yararlanılmaktadır. Orta ve derin sularda daha çok tercih edilen su altı araçlarının (ROV-AUV) görüntüleme, haritalandırma ve modelleme işlemlerinde kullanıldığı bilinmektedir. Şimdiye kadar Türkiye karasularında tespit edilmiş, lahit kargosu içeren batık sayısı azdır. Antalya ilinin Kumluca ilçesine bağlı, Şıldanlar Feneri'nde (Gelidonya/Taşlıkburnu) keşfedilmiş olan Lahit Batığı üzerinde, yaz aylarında 3B modelleme ve Rekonstrüksiyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan 3B modelleme ve rekonstrüksiyonlarda görülen bu lahitlerin, daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda MS 4-6 yüzyıla tarihlendirildiği bilinmektedir (Özdaş vd., 2012: 122). Söz konusu lahitlerin, yüzeylerinin bir çökeltiyle kaplanmış olduğu görülmektedir. 2012 yılında yayınlanan makale⁶⁰ içerisinde verilen lahitlerin çekilmiş görüntüsü (Fig. 80a) ve 2020 yılında çekilmiş görüntülere (Fig. 80b) bakıldığında lahitlerin mevcut durumunu koruduğu görülmektedir.

Çeşitli lokasyonlarda tespit edilen batık ve batık alanının belgelenmesi günümüzde güncel olarak kullanılan fotogrametrik yöntemlerle birlikte bu batık üzerinde uygulama yapılmış, görüntüleme ve belgeleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu görüntüleme ve belgeleme çalışmaları, yüzey araştırmaları sırasında sınırlı süre içerisinde gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bulunan batıklar üzerinde uzun süreli bir çalışma gerçekleştirilememiştir. Lahit barındıran bu batık üzerinde gerçekleştirilen belgeleme çalışmasında ROV (Remotely Controlled Vehicle) ve üzerine yerleştirilen GoPro Hero 7 aksiyon kamerasından elde edilen

⁶⁰ Özdaş vd., 2012.

fotoğraf ve videolar kullanılmıştır. Çalışma sırasında özellikle bölgede hâkim olan akıntının yanı sıra birçok faktör (rüzgâr, ışık ve dalgalar), yapılan çalışmayı etkilemiş ve etkisini kısıtlamıştır. Kullanılan belgeleme yöntemi de bu durumlar göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Akdeniz Üniversitesi Arkeolojik Sualtı Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezine ait olan ve Akdeniz Kıyıları Sualtı Araştırma Projeleri'nde kullanılan Arkeo Bilimsel İnceleme ve Araştırma Gemisi, bulunan batığın tam üzerine demirlemeyi başarmış, alanın GPS koordinatları da alınmıştır. Bu çalışmada verileri işlemede Adobe Photoshop, Premiere ve Agisoft Metashape yazılımlarından faydalanılmıştır.



Figür 80a, 80b: 2012 yılında yayınlanmış makaleden bir görsel (Özdaş vd. 2012: 122, Res. 6) ve Alandan ROV üzerine monte edilmiş GoPro ile çekilmiş bir görüntü.

Bölgede gerçekleştirilecek belgeleme çalışması için hazırlıklara başlanmıştır. İlk olarak çalışmalarda kullanılan ROV GNOM (Fig. 81a) süper modeli olup, bünyesinde barındırdığı kameranın 1.4 Megapiksel olması nedeniyle üzerine GoPro aksiyon kamerası yerleştirilmiştir (Fig. 81b). ROV'da hali hazırda yapay ışıklara sahiptir. Sistem bir bilgisayar ve merkez kontrol kutusuna bağlanan kablolar aracılığıyla kurulmuş ve kontrolü bir kablosuz kumanda (joystcik) yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Görüntüyü bilgisayara USB Video Capture Driver ile aktararak sağlanan bu sistem kurulmuştur (Fig. 82). Tüm bağlantılar ve kontroller gerçekleştirildikten sonra suya indirilen ROV operatörlüğü Günay Dönmez ve Metehan S. Gül tarafından gerçekleştirilmiştir (Fig. 83).

Elde edilen görüntülerden iki ayrı fotoğraf (180 ve 550) veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setindeki görüntüler ilk önce Adobe Photoshop yazılımı ile (Filter>Camera Raw) düzenlenmiştir. Bu düzenlemede; Highlights, Shadows, Whites, Blacks, Clarity ve Dehaze değerleri üzerinde işlem yapılmış, renk ve netlik arttırmak amaçlanmıştır (Fig. 84).

Görüntülerin daha net ve asıl renkleri için bu tür düzenlemelerin yapıldığı bilinmektedir (Abdelaziz ve Elsayed, 2019: 4).



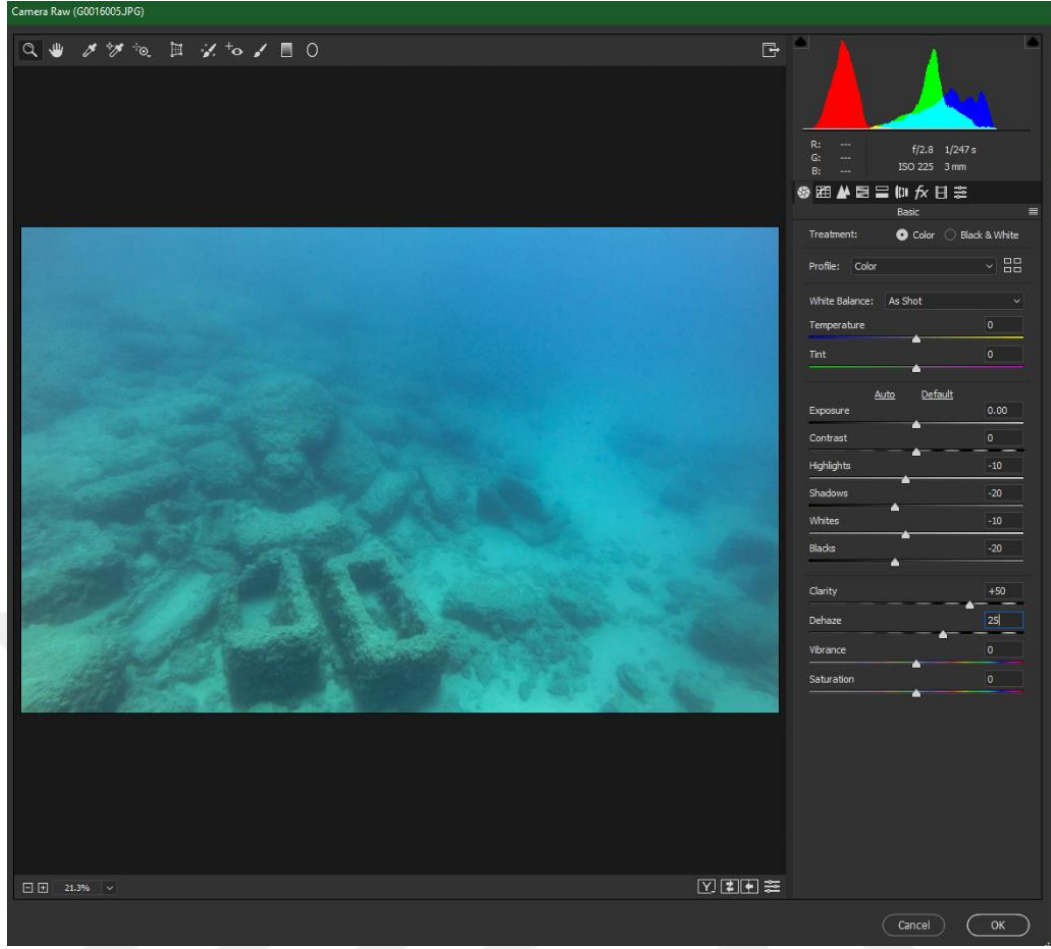
Figür 81a, b: Görüntüleme için kullanılan ROV ve üzerine yerleştirilmiş GoPro aksiyon kamerası.



Figür 82: Kurulan sistem ve bağlantıları.



Figür 83: Görüntüleme için ROV'un kumanda edildiği zamandan bir kare.



Figür 84: Camera Raw Filter ile Highlights, Shadows, Whites, Blacks, Clarity ve Dehaze değerlerin düzenlenmesi.

Alanın üç boyutlu rekonstrüksiyonu bilgisayar ortamında yapabilmek için Sualtı Fotogrametrisi'nde tercih edilen yazılımlardan bir tanesi olan Agisoft Metashape, verileri işlemede kullanılmıştır.

Düzenlenen bu görüntüler farklı bir klasörde toplanmış ve Agisoft Metashape yazılımına yüklenmiştir. Metashape yazılımına bu fotoğrafları aktarmak için birkaç yol bulunmaktadır. Yazılım içerisinde yer alan Chunk'a (Yığın) bu fotoğrafları sürükleyip bırak ile veya workflow menüsünde yer alan Add Photos seçeneği ile aktarabilmekteyiz. Fotoğrafları aktardıktan sonra modelleme için sırasıyla yapılacak olan birkaç adım vardır. Bu adımlardan ilki olan Align Photos'u düzenlenen fotoğraflar yüklendikten sonra ilgili menüden seçerek uygularız. (Workflow>Align Photos) Karşımıza çıkan ilgili pencereden çeşitli ayarları yapabilmekteyiz. Çalışma içerisinde, Align Photos aşaması için Medium ayarları ve Key Point limiti içinde 100.000 değeri seçilmiştir.

Align Photos işlemi sonrasında hizalanan fotoğraflar artık ikinci aşama olan Build Dense Cloud için hazır duruma gelmiştir. Build Dense Cloud aşamasıyla 3B'lu modelleme işlemi için gerekli nokta bulutu oluşturulacaktır. İlgili menüden (Workflow>Build Dense

Cloud) seçilerek aşama başlatılır. Bu aşamada medium ayarlar seçili olarak devam edilmiştir. Nokta bulutu oluşturulduktan sonra 3B modellemesinin oluşacağı Build Mesh aşamasına geçilir ve ilgili menüden seçilerek bu aşama başlatılır. (Workflow>Build Texture) Build Mesh aşaması da bittikten sonra karşımıza 3B'lu bir modelleme çıkmaktadır. Gerçek dünya dokusu eklemek içinde Build Texture işlemi yine aynı menüden (Workflow>Build Texture) seçilir. Gerçek dünya dokusunun da eklenmesiyle modellememiz hazır duruma gelmiştir. Bu işlemlerden sonra çeşitli formatlarda farklı yazılımlar aracılığı ile çeşitli çıktılar alabiliriz. Workflow menüsü içerisinde yer alan Build Orthomosaic ile orthophoto'lar elde ederiz. Bu sayede alanın çizimini, haritalandırılmasını rahatlıkla gerçekleştirebiliriz.

ROV un sahip olduğu kameradan elde edilen video görüntülerden yazılımlar aracılığıyla elde edilen fotoğraf kareleri yine Agisoft Metashape yazılımında işlenmiştir. Ancak elde edilen görüntülerden ortaya çıkan sonuç başarılı değildir. ROV sahip olduğu 1.4 megapiksel kamera, görüntülerin oldukça düşük kaliteli, düşük çözünürlüklü olması demektir ve bu görüntüler üzerinden 3B model elde etme denememiz başarısız olmuştur. Ancak üzerine yerleştirdiğimiz GoPro kameradan elde edilen fotoğraf karelerinin işlenmesi ile ortaya çıkan 3B modelleme ve ortofoto oldukça iyi durumdadır (Fig. 85, 86, 87).



Figür 85: Alanın ortofotosu.



Figür 86: GoPro'dan elde edilen görüntülerden oluşturulan ortofoto görüntüsü.



Figür 87: GoPro'dan elde edilen görüntülerden oluşturulan üç boyutlu (3B) model ekonstrüksiyonu.

ROV ile gerçekleştirilen bu çalışmalarda genellikle sonar sistemlerinden de faydalandığı bilinmektedir. Bu sistemlerden elde edilen veriler ile Fotogrametri verilerinin birleştirilmesiyle (füzyon) oluşturulan, konumlandırma sistemleriyle birlikte, GPS verilerinin de eklenmesiyle coğrafi referanslı olarak 3B modelleme, rekonstrüksiyon ve haritalandırma yapılmaktadır. Çeşitli verilerden faydalanıp üç boyutlu (3B) modeller üreten bu çalışmalardan bazılarına ulaşmak mümkündür (Scaradozzi vd., 2013; Christ ve Wenli, 2013; Drap vd., 2013; Nornes vd., 2015; Teague ve Scott, 2017).

SONUÇ

Su altında kalan ve sualtı kültür mirasımızı oluşturan varlıklar oldukça hassastır ve çevresel koşullar nedeniyle de uzun zaman diliminde kimyasal ve fiziksel etkenlere maruz kalmaktadırlar. Barındırdıkları bilgi de bu doğrultuda kolaylıkla yok olabilecek durumdadır. Bu kapsamda bilginin toplanması ve aktarılabilmesi için, düzgün bir şekilde kültür varlıklarının belgelenmesi ve belgeleme yöntemleri önem kazanmıştır. Bu yüzden karasal arkeolojik alanlarda olduğu gibi görüntüleme ve belgeleme çalışmaları su altında da son derece önemlidir.

Su altı ile ilgili bilimsel disiplinler ve meslek grupları oldukça hızlı bir şekilde gelişen teknolojiye ayak uydurmuştur. 1960'lı yıllardan itibaren deneysel olarak başlayan ve geliştirilen yöntemler, teknoloji ile desteklenmiştir. Teknolojide yaşanan gelişmeler hem yazılım hem de donanım alanında gerçekleşmiş ve birçok olasılığın önünü açmıştır. Bu teknolojiler başta Arkeoloji ve diğer meslek (Mimari, Restorasyon,...) gruplarına, daha sonra ise Sualtı Kültür Mirası, Sualtı Arkeolojisi, Denizcilik (maritime & nautical) Arkeolojisi alanlarına entegre edilmesiyle görüntüleme ve belgeleme yöntemleri çeşitlenmiştir. 1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen süreçte Sualtı Kültür Mirası'nda belgeleme için ana metod olarak "Fotogrametri" ortaya çıkmaktadır. Fotogrametri, verilerin elde edilmesi ve işlenmesi için oldukça pratik, hızlı ve maliyeti göreceli olarak düşük bir sistemdir. Fotogrametri ile fotoğraflardan ve bilinen ölçümlerden yararlanılarak üç boyutlu (3B) modellemeler, 1:1 ölçekli ve coğrafi referanslı olarak üretilmektedir. Üretilen bu modellemeler yazılım ile farklı formatlarda aktarılabilir. Böylelikle sanal sergi veya müzeler, eserlerin istenilen ölçekte olacak şekilde ayrıntılı çizimleri (batık, batığa ait parçalar, vb.) ve replikaları, haritalandırmalar, ortofoto, gerçek doku verileri ile kaplanan üç boyutlu (3B) model rekonstrüksiyonları yapılabilmektedir. Bu ürünler hem bilimsel faaliyetlerde (batık alanın haritalandırılması, eserlerin ve batığın modellenmesi, vb.) kullanılabilir hem de ulaşılması zor su altındaki arkeolojik alanların, VR-AR teknolojileri ile birlikte toplum tarafından tecrübe etmesini sağlamaktadır. Üstelik Fotogrametri ile elde edilen ürünler sonucu alana gerçekleştirilecek dalış sayısının azalmasına, dalış yapmadan gerekli verilerin toplanabilmesine olanak sağlaması, dalış hastalıkları gibi risklerin azalması, maliyetin düşmesi konusunda katkıda bulunmaktadır.

Yapılan araştırmalar doğrultusunda Fotogrametri için, güncel olarak belgelemede en çok tercih edilen Direct Survey Method (DSM) bu tez kapsamında da çalışmalarda (Kaş Fener Batığı ve Osmanlı Dönemi Batığı) DSM ile eşellerin beraber kullanıldığı yöntem tercih edilmiş ve gerçekleştirilmiştir. DSM için, yerel koordinat ağı; kontrol noktaları ile kurulmuş, ölçümler alınmış, veriler yazılımda işlenmiş ve eşeller ile ölçekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu

yöntem sonucunda modelleme elde edilmiştir. Çalışma sırasında karşılaşılan deniz dalgaları, deniz akıntıları ile ışık, çalışmanın başarısını etkileyen oldukça belirleyici faktörler olmuştur. Çalışmalar içerisinde alanda bulunan kontrol noktalarının yanı sıra referans noktalarının ve eşellerin sayısının artması gerektiği sonucuna varılmakla birlikte, ölçeklemeyi ve modelin doğruluk oranını etkilediğinden alanda kullanılan eşeller arasındaki mesafenin iyi ayarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu işlem ölçeklemeyi ve modelin doğruluk oranını etkilediği için önem kazanmaktadır. 10 adet kontrol noktası ve eşeller ile yeterli, yüksek doğrulukta bir modelleme elde edilmiştir. Ancak Muhtemel Osmanlı Batığının bulunduğu bölge gibi büyük alanlarda referans noktası ve eşel sayısının artması gerektiği ortaya çıkmıştır. Direct Survey Method (DSM), kısa süreli çalışmalar için uygun olmadığı düşünülse de oldukça hızlı ve planlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak DSM'den daha hızlı bir yöntemle çalışmaya ihtiyaç duyulursa Tri-Closure tekniği oldukça basit ve hızlı bir çözüm olduğu düşünülmektedir. Çalışmalar sırasında test edilememiştir.

Bu yöntemlerle elde edilen veriler, çalışmanın gerçekleştirildiği arkeolojik alanın coğrafi referanslı 1:1 ölçekte modelinin ve üç boyutlu alan rekonstrüksiyonun, in-situ olarak üretilmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca üç boyutlu (3B-3D) modellemeler ve rekonstrüksiyonlar ile dijitalleşen dünyamızda verileri muhafaza etmek, yönetmek ve korumak oldukça kolaylaşmıştır. Üstelik çeşitli veri tabanları ve modellemeler ile sanal sergi ve müze (VR, AR) gibi uygulamalar kullanılabilmektedir. Gelecek nesillere kültürü ve kültür varlıklarını, farklı formatlarda farklı birçok yazılım ve cihaz ile aktarımı sağlanabilmektedir. Çünkü arkeolojik varlıkların, özellikle su altındaki varlıkların sudan çıkarıldıktan sonra arındırma işlemleri, restorasyon ve konservasyon işlemlerinin yapılması süreci oldukça uzundur. Bu yüzden de arkeolojik eserler sudan çıkarken veya çıktıktan sonra karadaki eserlere oranla çok daha hassas durumdadır ve muhafazası zordur. Yok olma tehlikesine karşı üç boyutlu (3B) modellemesi gerçekleştirilebilen bu eserlerin daha sonra dijital ortamlarda saklanması, replikalarının üretilmesi ve araştırmalara olanak sağlaması, çok büyük bir imkân ve fırsat sunmaktadır. Ayrıca Nokta Bulutunun oluşturulması ile birlikte çeşitli analizler, yönetim ve koruma stratejilerinin geliştirilebilmesinin önünü de açmaktadır. Elde edilen verilerle belgelenen kültür varlığı üzerindeki zamanın etkisiyle oluşan değişimlerin gözlenmesine imkân sağlamaktadır. Sualtı Fotogrametrisi, Uzmanlar (Sualtı Kültür Mirası, Arkeoloji, Restorasyon) tarafından inceleme, ölçüm, sahip oldukları hasar ve zamanla olacak hasarların tespiti ve izlenmesi gibi konularda kolay ve hızlı sonuca ulaşabileceğimiz verileri sağlamaktadır. Ayrıca sualtı kültür miraslarıyla ilgili yapılabilecek farkındalık çalışmalarının da önünü açmaktadır. Tüm bu sebeplerden ötürü günümüzde oldukça önemli bir hâl almıştır. Bu yüzden bu alanda yapılacak her çalışma ve

gelişme oldukça önemlidir. Öyle ki Yapay Zeka'dan faydalanarak çeşitli uzmanların, Fotogrametri, çizim ve haritalama işlemlerini otonom olarak yapılabilmesi için yöntem ve çalışmaların gerçekleştirildiği bilinmektedir. Hızla dijitalleşen dünyaya, teknolojiyle ilişkili olan sualtı kültür mirası oldukça uyumludur.

Akdeniz suları içerisinde barındırdığı kültürel zenginlik unutulmamalıdır. Kullanılan donanım ve yazılımlar ile Sualtı Kültür Mirası uzmanlarının multidisipliner olması, bu yazılım ve donanımlar hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir. Böylelikle Su altındaki Kültürel varlıklarımızın tespiti, görüntüleme ve belgelenmesi işlemi dijital ortamlara ve kayıtlara aktarılabilir. Bu sayede kültür varlıklarımızın korunması ve yönetimi için stratejiler geliştirilebilir. Bu tez çalışması ile Sualtı Kültür Mirası Literatürüne katkıda bulunarak bu alanda çalışacak uzmanlar için bir kaynak olması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerin uygulanması ve geliştirilmesi teknolojiyle oldukça uyumlu olan Sualtı Kültür Mirası alanında bir gerekliliktir.

KAYNAKÇA

- Abdelaziz, M. ve Elsayed, M. (2019). Underwater photogrammetry Digital Surface Model (DSM) of the submerged site of the ancient lighthouse near Qaitbay fort in Alexandria, Egypt. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W10, 1-8. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-1-2019>, 2019
- Allotta, B., Costanzi, R., Ridolfi, A., Salvetti, O., Reggiannini, M., Kruusmaa, M., Salumae, T., Lane, D. M., Frost, G., Tsiogkas, N., Cocco, M., Gualdesi, L., Lacava, G., Roig, D., Gundogdu, H. T., Dede, M. I. C., Baines, S., Tusa, S., Latti, P. ve Scaradozzi, D. (2018). The ARROWS Project: Robotic technologies for underwater archaeology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 364(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/364/1/012088>
- Aragón, E., Munar, S., Rodríguez, J. ve Yamafune, K. (2017). Underwater photogrammetric monitoring techniques for mid-depth shipwrecks. *Journal of Cultural Heritage, Volume 34*, 2018, 255-260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.12.007>.
- Aslan, E. ve Orhan, U. (2018). Kekova adası arkeolojik yüzey/sualtı araştırması 2017-2018. *TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi (2018) Sayı 10*, 99-115.
- Aslan, E. ve Orhan, U. (2019). Phaselis 2018 yılı güney liman alanı sualtı araştırmalarında tespit edilen amphoralar. *Phaselis V*, 85-99. doi: [10.18367/Pha.19004](https://doi.org/10.18367/Pha.19004)
- Avşar, E. Ö. (2006). *Tarihi köprülerin digital fotogrametri tekniği yardımıyla modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aydar, U. (2007). *Cephe değerlendirmelerinde fotogrametrik ve görselleştirme yöntemlerinin kıyaslanması*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Azami, M., Gündoğan, R. ve Yakupoğlu, T. (2017). Farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oyuntu erozyonunun bazı topoğrafik karakteristiklerinin belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5 (1), 9-21.
- Balletti, C., Beltrame, C., Costa, E., Guerra, F. ve Vernier, P. (2015). Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of marble cargos shipwreck. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W5*, 7-13. doi: [10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-7-2015](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-7-2015)
- Bass, G. F. ve Doorninck, Jr. F. H. V. (1982). *Yassi Ada a seventh-century Byzantine shipwreck (Vol I.)*, Texas A&M University Press, Texas.

Bass, G. F., Matthews, S. D., Steffy, R. J. ve Van Doornick, Jr. F. H. (2004). *Serçe Limanı an eleventh-century shipwreck volume I the ship and its anchorage, crew, and passengers*. Texas A&M University Press, Texas.

Block, M., Dworsky, C., Löw, C., Da Fonseca H. S., Gehmlich, B., Wittchen, D., Görsch, N., Suchowska, P. ve Ducke, B. (2017). Underwater Videogrammetry with adaptive feature detection at “See am Mondsee”. *SDH*, 1, 2, 547-565. doi:10.14434/sdh.v1i2.23202

Canlı, G. A., Kurtoğlu, İ., Canlı, M. O. ve Tuna, Ö. S. (2015). Dünyada ve ülkemizde İnsansız Sualtı Araçları (İSAA – AUV & ROV) tasarım ve uygulamaları. *GIDB Dergi, Sayı 4*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Christ, R. D. ve Wernli Sr R. L. (2014). *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*. Elsevier, Oxford.

Costa, E., Guerra, F. ve Vernier, P. (2018). Self-assembled ROV and photogrammetric surveys with low cost techniques, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, 275-279. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-275-2018>, 2018.

Davidde Petriaggi, B. ve Gomez de Ayala, G. (2015). Laser Scanner reliefs of selected archeological structures in the submerged baiae (Naples). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W*. 2015, 79-83, Napoli. doi: [10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-79-2015](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-79-2015)

Davis, D. ve Tusting, R. (1991). Quantitative benthic photography using laser calibrations. *Undersea World*, San Diego.

Derenne, B., Nantet, E., Verly, G. ve Boone, M. (2019). Complementarity between in situ studies and photogrammetry: methodological feedback from a Roman Shipwreck in Caesarea, Israel. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W10*, 77-83. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-77-2019>

Diamanti, E., Georgopoulos, A. ve Vlachaki, F. (2011). Geometric documentation of underwater archaeological sites. *Geoinformatics FCE CTU*, 1-10. doi: 10.14311/gi.11.3

Diamanti, E., Spondylis, E., Vlachaki, F., ve Kolyva, E. (2017). Surveying the underwater archaeological site of Cape Glaros at Pagasetikos Gulf. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, 243-250. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-243-2017.

Drap P., Scaradozzi D., Gambogi P. ve Gauch F. (2008). Underwater photogrammetry for archaeology - The VENUS project framework. *In Proceedings of the Third International*

Conference on Computer Graphics Theory and Applications, 485-491. doi: 10.5220/0001100504850491

Drap, P. (2012). Underwater photogrammetry for archaeology. D. C. Da Silva (Ed.). *Special Applications Of Photogrammetry*, 111-136.

Drap, P., Merad, D., Mahiddine, A., Seinturier, J., Peloso, D., Boi, J. M., Chemisky, B. ve Long, L. (2013). Underwater photogrammetry for archaeology. what will be the next step? *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(3), 375–394. doi: <https://doi.org/10.1260/2047-4970.2.3.375>

Drap, P., Seinturier, J., Hijazi, B., Merad, D., Boi, J-M. (2015). The ROV 3D project: deep-sea underwater survey using photogrammetry: applications for underwater archaeology. *Journal on Computing and Cultural Heritage* 8(4),1-24. Aix-Marseille University, Marseille. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/2757283>

Drap, P., Papini, O., Merad, D., Pasquet, J., Royer, J. P. Nawaf, M. M., Saccone, M., Ellefi, M. B., Chemisky, B., Seinturier, J., Sourisseau, J. C., Gambin, T. ve Castro, F. (2019). Deepwater archaeological survey: an interdisciplinary and complex process. J.K McCarthy; J. Benjamin; T. Winton ve W. van Duivenvoorde. (ED.) *3D recording and interpretation for maritime archaeology*, 31,135-153. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_9

Dündar, E. (2012). A group of amphorae from Side Museum and a new type of amphora: the Lycian amphora? *AA* (1), 43-61.

Erdogan, M. ve Toz, G. (2009). Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) doğruluk ve üretim maliyetleri. TUFUAB 2009-*Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu*, (1-4). Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.

Eric, M., Kovačič, R., Berginc, G., Pugelj, M., Stopinšek, Ž. ve Solina, F. (2013). The Impact of the Latest 3D Technologies on the Documentation of Underwater Heritage Sites. *2013 Digital Heritage International Congress (Digital Heritage)*, 281-288. doi: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6744765.

Gawlik N. (2013). *3D modeling of underwater archaeological artefacts*, (Yüksek Lisans Tezi), Norwegian University, Norveç.

Green, J. (2004). *Maritime archaeology: a technical handbook* (second edition). Elsevier Academic Press: USA.

Günsenin, N. (1993). Ganos. Centre de production d'amphores a l'epoque Byzantine. *Anatolia antiqua Eski Anadolu* 2/1, 193-201.

Günsenin, N. (2009). Ganos wine and its circulation in the 11th century. Mango, M. M. (Ed.), *Byzantine Trade, 4th-12th centuries*, 145-153. Ashgate.

- Nur, S., Hamal, G. ve Ulvi, A. (2020). Su altı fotogrametri yöntemi ve kullanım alanı üzerine bir literatür araştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2 (2), 60-71.
- Henderson, J., Pizarro, O., Johnson-Roberson, M. ve Mahon, I. (2013). Mapping submerged sites using Stereo-Vision photogrammetry. *International Journal of Nautical Archaeology*, 42: 243-256. doi: <https://doi.org/10.1111/1095-9270.12016>
- Istenic, K., Gracias, N., Arnaubec, A., Escartin, J. ve Garcia, R. (2019). Scale accuracy evaluation of image-based 3D reconstruction strategies using laser photogrammetry, *Remote Sensing*, 11, 2093, 1-33. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/rs11182093>
- Jones, C. B. (1997). *Geographical Information Systems and computer cartograph*. Longinan, UK. doi: <https://doi.org/10.4324/9781315846231>
- Karalar, F., Uysal, M., Varlık, A. ve Can, Z. C. (2003). Dijital ortofoto üretimi. *Harita Dergisi*, 47-55.
- Kaya, F. Z., Akçay, Ö., Avşar, E. Ö., ve Aydar, U. (2019). Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar, 17. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 1-9. Ankara.
- Kapluhan, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) coğrafya öğretiminde kullanımının önemi ve gerekliliği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 0 (29). doi: 10.14781/mcd.85148
- Kıvanç, H. (2019). Kültürel miras belgeleme çalışmalarında fotogrametrik yöntem ile yersel Lazer Tarama yönteminin karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Klaus, K. (2007). *Fotogrametri-1 (Cilt 1)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul.
- Kocaman, S., Guo, T., Gruen, A. ve Troyer, M. (2017). Ada Dijital Ekosistem Avatari (IDEA) projesi. *AKÜ FEMÜBİD 17 Özel Sayı*, 183-189.
- Konecny, G., (2003). *Geoinformation remote sensing, photogrammetry and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, London. doi: <https://doi.org/10.1080/1365881031001592953>
- Kork, E. S., (2006). Arkeolojik araştırmalarda kültürel mirasın belgelenmesi ve izlenmesi sürecinde “Fotogrametri”nin uygulama alanları. (Yüksek Lisans Tezi). Muğla Üniversitesi, Muğla.
- Kralj, V., Beltrame, C., Miholjek, I., ve Ferri, M. (2016). A Byzantine Shipwreck from Cape Stoba, Mljet, Croatia. *International Journal of Nautical Archaeology*, 45(1), 42-58. doi: <https://doi.org/10.1111/1095-9270.12151>

Mahamadaly, V. ve Pinel, R. (2017). Underwater photogrammetry presents its own unique challenges. *GeoConnexion International Magazine*, 17-21.

Mahaxay, M., Brouwers, W. ve Manders, M. R. (2012). *Geographical Information Systems (GIS) in underwater archaeology*. UNESCO Bangkok.

Martínez, A. (2014). A souvenir of undersea landscapes: underwater photography and the limits of photographic visibility, 1890-1910. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* 21, 1029-1047.

Massot-Campos M. ve Oliver-Codina G., (2015). Optical sensors and methods for underwater 3D reconstruction. *Sensors*, 15 (12), 31525-31557. doi: [10.3390/s151229864](https://doi.org/10.3390/s151229864)

McCarthy, J. ve Benjamin, J. (2014). Multi-image photogrammetry for underwater archaeological site recording: an accessible, diver-based approach. *J Mari Arch* 9, 95-114. doi: <https://doi.org/10.1007/s11457-014-9127-7>

McCarthy J., Benjamin J., Winton T. ve van Duivenvoorde W. (2019). The Rise of 3D in Maritime Archaeology. McCarthy J., Benjamin J., Winton T. ve van Duivenvoorde W. (eds) *3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology. Coastal Research Library, vol 31*, 1-10. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_1

Menna, F., Nocerino, E., Fassi, F. ve Remondino, F. (2016). Geometric and optic characterization of a hemispherical dome port for underwater photogrammetry. *Sensors*, 16(1), 48, 1-21. doi: 10.3390/s16010048

Mimaroğlu, S. (2011). Kadıkalesi/Anaia Bizans Dönemi Amphoraları. *Sanat Tarihi Dergisi*, 20 (1), 63-92.

Mimaroğlu, S. (2013). VI. Kadıkalesi/Anaia Geç Bizans Dönemi ticari amphoraları. Mercangöz, Z. (Ed.), *Bizanslı ustalar – Latin patronlar, Kuşadası yakınındaki Kadıkalesi kazıları ışığında Anaia ticari üretiminden yansımalar*, 113-124. Ege Yayınları, İstanbul.

Mimaroğlu, S. (2014). Ayasuluk Tepesi ve St. Jean Anıtı kazısı buluntusu Ganos Amphoraları/Ganos Amphoras Found in Excavations on Ayasuluk Hill and St. Jean Churches. H. S. Ünalın, M. Kürüm, N. Akbulut (Ed.), *Uluslararası XVIII. Ortaçağ ve Türk Dönemi Kazıları ve Sanat Tarihi Araştırmaları Sempozyumu (22-25 Ekim 2014) Bildiriler*, 451-464. Aydın, Efeler Belediyesi Kültür Yayınları.

Nornes, S. M., Ludvigsen, M., Odegard, O. ve Sorensen, A. J. (2015). Underwater photogrammetric mapping of an intact standing steel wreck with ROV. *IFAC-PapersOnline Volume 48, Issue 2*, 206-211. doi: [10.1016/j.ifacol.2015.06.034](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.034)

Öniz, H. (2014). Multi holed stone anchors of Antalya-2011. *Archaeologia Maritima Mediterranea*, Vol 11, 2014 13-24.

- Öniz, H. (2016). *Doğu Akdeniz'de Amphoralar* (Ed: Nezih Başgelen). İstanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Öniz, H. (2018). *Sualtı Kültür Mirasının Korunması*. (Ed. H. Öniz) İstanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Öniz, H. (2019). Alanya Osmanlı Batığı sualtı kazısı 2019 yılı çalışmaları, *TİNA*, Cilt (12), 72-76.
- Özdaş, H., Kızıldağ, H. ve Okan, E. (2011). Akdeniz kıyıları arkeolojik sualtı araştırmaları 2011. Yüzey araştırmaları raporları, *Anadolu Akdenizi Arkeoloji Haberleri 2012-10, ANMED. Ayırbasım*, 119-124.
- Pilgrim, D. A., Parry, D. M., Jones, M. B. ve Kendall, M. A. (2000). ROV image scaling with laser spot patterns. *Underw. Technol.*, 24, 93-103. doi:10.3723/175605400783259684.
- Raban, A. (2000). Three-hole composite stone anchors from a medieval context at Caesarea Maritima, Israel, *The International Journal of Nautical Archaeology*, V29, I2, 260-272. doi: <https://doi.org/10.1006/ijna.2000.0312>
- Reinfeld, M. ve Filser, W. (2020). Underwater 3D recording of the harbour system of the villa maritima at the Cape of Sorrento. W. Börner, S. Uhlirz (Ed.), *Proceedings of the 23rd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2018*. CHNT 23, 1-14. Vienna: CHNT <http://www.chnt.at/proceedings-chnt-23/> ISBN 978-3-200-06576-5.
- Remondino, F., Del Pizzo, S., Kersten, P.T. ve Troisi, S., (2012). Low-cost and open-source solutions for automate image orientation-a critical overview. *Lect. Notes Comput. Sci.* 7616:40–54. doi:[10.1007/978-3-642-34234-9_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34234-9_5)
- Rule, N. (2007). The Direct Survey Method (DSM) of underwater survey, and its application underwater. *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* (1989) 18.2, 157-162. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1989.tb00187.x>
- Scaradozzi, D., Sorbi, L., Zoppini, F., Scaradozzi, D. ve Gambogi, P. (2013). Tools and techniques for underwater archaeological sites documentation. *2013 OCEANS - San Diego*, 1-6. San Diego, CA, doi: 10.23919/OCEANS.2013.6741298.
- Sholarin, E. A., ve Awange, J. L. (2015). *Photogrammetry. Environmental Project Management*, 213-230. Doi:10.1007/978-3-319-27651-9_10.
- Shortis M. (2019). Camera calibration techniques for accurate measurement underwater. McCarthy J., Benjamin J., Winton T. ve van Duivenvoorde W. (Eds.) *3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology. Coastal Research Library*, vol 31, 11-29. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_2

Skarlatos, D., Agapiou, A. ve Rova, M. (2010). Photogrammetric support on an underwater archaeological excavation site: The Mazotos Shipwreck case, 1-9.

Skarlatos, D., Demestiha, S., ve Kiparissi, S. (2012). An ‘Open’ method for 3D Modelling and mapping in underwater archaeological sites. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1), 1–24. doi: <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.1.1>.

Sütçüoğlu, O. (2018). *Sualtı arkeolojisi perspektifinden osmanlı kadirgaları (15-16. yüzyıl)*. (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Şahin, M. (2018). Sualtı Kültür Mirası İçin Yapılacak Çalışmalar ve ICOMOS Tüzüğü. H. Öniz (Ed.), *Sualtı Kültür Mirasının Korunması*. 64-71. İstanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları.

Teague, J., ve Scott, T. (2017). Underwater photogrammetry and 3D Reconstruction of submerged objects in shallow environments by ROV and underwater GPS. *Journal of Marine Science Research and Technology*, 1-7.

Tousant, K. T. D. ve Fai, S. (2019). The Digital restitution of Lot 3317: using underwater image based modelling to generate value in Virtual heritage experiences. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W15*, 2019. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1163-2019>

Van Damme, T. (2015). Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording: A Critical Assessment. (Yüksek Lisans Tezi). University of Southern Denmark, Odense.

Uslu, A., Polat, N., Toprak, A. S. ve Uysal, M. (2016). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 8, No: 2*, 165-176.

Yamafune, K. (2016). Using Computer Vision Photogrammetry (Agisoft Photoscan) to record and analyze underwater shipwreck sites (Doctor of Philosophy). Texas A&M.

Yamafune, K. (2017a). A methodology for accurate and quick photogrammetric recording of Underwater cultural heritage. *Proceedings of 3rd Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage*, 1, (517-537). A.P.P.A.R.A.T.U.S. LLC, Hong kong: APCONF.

Yağımlı, M. (2011). Lazer tabanlı su altı haberleşme sistem tasarımı. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 7 (2), 1-10.

Türker, A. Ç. (2005). Gelibolu'da Bizans seramikleri ve ökaristik ekmek damgası. *Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 87-104.

Türker, A.Ç. (2006). Bizans Dönemi Demre-Myra sırsız seramik buluntuları. *Adalya*, IX (2006), 155-169.

İnternet Kaynakları

3D at Depth. (2020). Erişim adresi: <https://www.3datdepth.com/> (erişim tarihi: 17.09.2020).

3D at Depth. (2020). Archaeological Sites and Wrecks Erişim adresi: <https://www.3datdepth.com/applications/archaeological-sites-and-wrecks> (erişim tarihi: 17.09.2020).

Aerialserviceinc.com. (2021). Erişim adresi: <https://aerialservicesinc.com/announcement/going-digital/> (erişim tarihi: 26.05.2021).

Agisoft LLC. (2019). Agisoft Metashape user manual: professional edition, version 1.5. Erişim adresi: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf (erişim tarihi: 03.02.2020).

Agisoft LLC. (2018). Agisoft photoscan user manual: professional edition, version 1.1. Erişim adresi: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjlgtra6enmAhhVJK5oKHxkzAW0QFjAAegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.agisoft.com%2Fpdf%2Fphotoscanpro_1_4_en.pdf&usg=AOvVaw0YD0z5DFOrz5tNcjMJYynl (erişim tarihi: 03.02.2020).

Archaeology Data Service/Digital Antiquity. (2009). Venus Project. Erişim adresi: https://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/VENUS_Toc (erişim adresi: 15.04. 2020).

Archaeology Data Service. (2008). Venus: Virtual Exploration of The Underwater Sites. Erişim adresi: <https://archaeologydataservice.ac.uk/research/venus.xhtml> (erişim adresi: 15.04. 2020).

Arrows. (2015). Archaeological Robot Systems For the World's Seas. Erişim adresi: <http://www.arrowsproject.eu/> (erişim adresi: 15.04. 2020).

Autodesk. (2020). Erişim adresi: knowledge.autodesk.com, (erişim tarihi: 20.10.2020).

Başarsoft. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Nedir? Erişim adresi: <https://www.basarsoft.com.tr/cografi-bilgi-sistemleri-cbs-nedir/> (erişim tarihi: 20.07.2020).

Britannica. (2021). Jacques Cousteau. Erişim adresi: <https://www.britannica.com/biography/Jacques-Cousteau> (erişim tarihi: 01.04.2021).

Burtch, R. (2008). *History of photogrammetry*. lecture notes on the history of photogrammetry. Center for Photogrammetric Training, Ferris State University, Big Rapids. Erişim adresi: [https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photo](https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photo%20grammetry.pdf) grammetry.pdf (erişim tarihi: 20.11.2019).

Canada Science and Technology Museum. (2021). Broken Pencil Illusion. Erişim adresi: <https://ingeniumcanada.org/scitech/education/try-this-out/broken-pencil-illusion> (erişim tarihi: 07.03.2020).

cbsakademi.com. (2016). Erişim adresi: <https://cbsakademi.ibb.istanbul/dem-nedir/> (erişim tarihi: 3.09.2020).

cbsakademi.com. (2016). IMU Nedir? Erişim adresi: <https://cbsakademi.ibb.istanbul/imu-nedir/> (erişim tarihi: 04.04.2021).

Conceptartempire. (2020). Erişim adresi: conceptartempire.com/polygon-mesh/, erişim adresi: 20.10.2020).

CORDIS. (2008). Virtual Exploration of Underwater Sites. Erişim adresi: <https://cordis.europa.eu/project/id/034924> (erişim adresi: 15.04. 2020).

Doğaelektronik. (2020). Total Station nedir ve ne işe yarar? Erişim adresi: <https://www.dogaelektronik.com.tr/blog/total-station-nedir-ve-ne-ise-yarar> (erişim tarihi: 30.10. 2020).

Eskiler, U. (2017). Teodolitler Nedir, Özellikleri Nelerdir? (Tarihçesi). Erişim adresi: <https://www.makaleler.com/teodolit-nedir-ozellikleri-nelerdir> (erişim tarihi: 19.05.2021).

Faireysurveys.co.uk. (2021). Erişim adresi: <https://www.faireysurveys.co.uk/equipment/af55-wild-a8-stereoplotters-2/> (erişim tarihi: 26.05.2021).

GISGeography. (2020). Erişim adresi: <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (erişim tarihi: 3.09.2020).

GNOM ROV. (2021). Erişim adresi: <https://gnomrov.com/products/super-gnom/> erişim tarihi: (25.04.2021).

hakkıceylan.com (2013). EXIF Nedir? Nasıl kullanılır? Erişim adresi: <https://www.hakkıceylan.com/exif-nedir-nasil-kullanilir> (erişim tarihi: 09.05.2021).

ISPRS. (2020). ISPRS Tanımı. Erişim adresi: <https://www.isprs.org/documents/status16.aspx>. (erişim tarihi: 09.08.2020).

İnşaat Hesabı. (2020). Total Station Nedir? Erişim adresi: <https://insaathesabi.com/blog/total-station-nedir/> (erişim tarihi: 30.10.2020).

Lemelson-MIT. (2021). Jacques-Yves Cousteau and Emile Gagnan. Erişim adresi: <https://lemelson.mit.edu/resources/jacques-yves-cousteau-and-emile-gagnan> (erişim tarihi: 01.04.2021).

Microsoft Azure. (2021). Makine öğrenmesi nedir? Erişim adresi: <https://azure.microsoft.com/tr-tr/overview/what-is-machine-learning-platform/> erişim tarihi: (23.06.2021).

Microsoft Azure. (2021). Derin öğrenme ile Machine Learning Azure Machine Learning. Erişim adresi: <https://docs.microsoft.com/tr-tr/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning> erişim tarihi: (23.06.2021).

MIT News. (2021). An underwater navigation system powered by sound. Erişim adresi: <https://news.mit.edu/2020/underwater-gps-navigation-1102> (erişim tarihi: 21.03.2020).

Motifharita. (2019). Mimari-Yersel Fotogrametri. Erişim adresi: <http://motifharita.com/careers/> (erişim tarihi: 20.12. 2019).

Özdemir, H. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, İstanbul, 2017. Erişim adresi: http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/coğrafya_lisans_ao/coografi_bilgi_sistemleri.pdf (erişim tarihi: 23.03.2020).

Photographylife. (2020). EXIF Data Explained. Erişim adresi: [https:// photographylife.com/what-is-exif-data](https://photographylife.com/what-is-exif-data)

Seril Yıldız. (2003). Sualtında Fotoğraf Çekmek. Bilim ve Teknik Dergisi. Erişim adresi: <http://dalisakademisi.org/tr/Sualtinda-Fotoğraf-Cekmek.html>(erişim tarihi: 07.03. 2020).

Sketchfab, GIRT. (2020). Erişim adresi: <https://sketchfab.com/GIRT> (erişim tarihi: 30. 10.2020).

Sketchfab. (2020). Erişim adresi: <https://sketchfab.com/GIRT>; <https://sketchfab.com/3d-models/cessna-aircraft-underwater-b297f402a5b24f8ba486e3d45a294d1f>; <https://sketchfab.com/3d-models/underwater-pecio-de-ses-llumetes-porto-cristo-e65690fcb07043c68215ad53dd72cd70> (erişim tarihi: 30.10.2020).

ŞAHAN, N. H. (2019). DSM, DEM, DTM: CBS’de Yükseklik Modelleri. Erişim adresi: <https://surveyinggroup.com/dsm-dem-dtm-cbsde-yukseklık-modelleri/> (erişim tarihi: 20.12. 2019).

Thee Physics Classroom. (2020). The Broken Pencil. Erişim adresi: <https://www.physicsclassroom.com/mmedia/optics/bp.cfm> (erişim tarihi: 07.03.2020).

Türkiye Bilimler Akademisi. (2020). Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü, Fotogrametri. Erişim adresi: <http://www.tubaterim.gov.tr/>, (erişim tarihi: 09.08.2020).

UNESCO. (2002). Records of the General Conference, 31st session, Paris, 15 October to 3 November 2001, v. 1: Resolutions. UNESCO, Paris. Erişim adresi: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124687.page=56> (erişim tarihi: 15.04.2020).

UNESCO. (2017). UNESCO Manual for activities directed at Underwater Cultural Heritage. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural->

heritage/unesco-manual-for-activities-directed-at-underwater-cultural-heritage/training manual/(erişim tarihi: 18.05.2021).

UNESCO. (2020). Underwater Cultural Heritage, 2001 Convention. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/underwater-cultural-heritage/definition-of-underwater-cultural-heritage/> (erişim tarihi: 08.08.2020).

UNESCO. (2020). About the Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage. Erişim adresi: <http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/underwater-cultural-heritage/underwater-cultural-heritage/definition-of-underwater-cultural-heritage/> (erişim tarihi: 08.08.2020).

Unity Photogrammetry Workflow. (2017). Erişim adresi: https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf (erişim tarihi: 10.04.2020).

Veoptics.com (2021). Erişim adresi: <https://www.veoptics.com/digital-photogrammetry> (erişim tarihi: 26.05.2021).

Yamafune, K., Bishop, D. ve Kennedy, C. (2017b). *Tri-Closure: a new method to create a local coordinate system for underwater photogrammetric recording*. Erişim adresi: https://www.academia.edu/30284760/Tri_Closure_A_New_Method_to_Create_A_Local_Coordinate_System_for_Underwater_Photogrammetric_Recording (erişim tarihi: 14.03.2020).

Yamafune, K. (2017c). A of underwater cultural heritage methodology for accurate and quick photogrammetric recording. 3rd Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage, (1-29). A.P.P.A.R.A.T.U.S. LLC, Hong kong: APCONF. Erişim adresi: https://www.academia.edu/35374725/A_Methodology_for_Accurate_and_Quick_Photogrammetric_Recording_of_Underwater_Cultural_Heritage (erişim tarihi: 03.11.2019).