



**METRİK OLMAYAN DİJİTAL KAMERALARIN SU ALTI
FOTOGRAMETRİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEDA NUR GAMZE HAMAL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
HAZİRAN - 2022**

**METRİK OLMAYAN DİJİTAL KAMERALARIN SU ALTI
FOTOGRAMETRİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SEDA NUR GAMZE HAMAL
ORCID ID: 0000-0002-1050-3088**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ALİ ULVİ
ORCID ID: 0000-0003-3005-8011**

**MERSİN
HAZİRAN - 2022**

ÖZET

METRİK OLMAYAN DİJİTAL KAMERALARIN SU ALTI FOTOGRAMETRİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Su altındaki bir cismin üç boyutlu (3B) olarak belgelenmesi ve dijital platformlara aktarılması son yıllarda dünya çapında önem kazanmıştır. Bu amaç doğrultusunda fotogrametri yöntemi su altında denenmiş ve su altı fotogrametrisi terimi literatürde kendine yer bulmuştur. Fotogrametri yönteminin tercih edilmesinin en önemli nedeni diğer yöntemlere göre daha kısa sürede veri toplaması, zaman ve maliyet açısından olumlu katkı sağlamasıdır. Ancak su altında fotografik veri toplama aşamasında hem çevresel hem de fiziksel kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlamaları en aza indirmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Tez kapsamında, üç farklı ortamda (havuz, akarsu, deniz) iki adet obje yerleştirilerek fotogrametrik yöntemle hem fotoğraf hem de video çekimi yapılmıştır. Toplanan verilerin işlenmesinde Agisoft Metashape, Context Capture ve Reality Capture yazılımları kullanılmış ve 3B modeller su altı sahneleri üzerinde belirli metrikler kullanılarak üretilen nokta bulutları üzerinden performanslarına göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın kapsamında su altı nesnelere çeşitli yazılımlarda 3B modellerinin üretilmesinden ziyade oluşturulan nokta bulutlarının analiz sonuçlarından elde edilen istatistiksel sonuçlarını değerlendirilmiştir. Aynı zamanda üretilen 3B modellerin genel prosedür sonuçları irdelenmiş ve su altı ortamında fotogrametrik değerlendirme yaparken nelere dikkat edilmesi gerektiği konusunda önerilerde bulunulmuştur. Sonuç olarak, su altında fotogrametri yönteminin kullanılabilirliği test edilmiş ve fotogrametrik yazılımların karşılaştırılmalı analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su Altı, Fotogrametri, Su altı Fotogrametrisi, Su Altı Modelleme, Fotogrametrik Analiz.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi, Ali Ulvi, Mersin Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USAGE OF NON-METRIC DIGITAL CAMERAS IN UNDERWATER PHOTOGRAMMETRY

Three-dimensional (3D) documentation of an underwater object and its transfer to digital platforms have gained worldwide importance in recent years. For this purpose, the photogrammetry method has been tried underwater and the term underwater photogrammetry has found its place in the literature. The most important reason for preferring the photogrammetry method is that it collects data in a shorter time compared to other methods and provides a positive contribution in terms of time and cost. However, there are both environmental and physical limitations during underwater photographic data collection. Various suggestions have been made to minimize these restrictions.

Within the scope of the thesis, two objects were placed in three different environments (pool, river, sea) and both photography and video were shot using the photogrammetric method. Agisoft Metashape, Context Capture and Reality Capture software were used to process the collected data, and 3D models were evaluated according to their performance on point clouds produced using certain metrics on underwater scenes. Within the scope of this study, the statistical results obtained from the analysis results of the created point clouds rather than the production of 3D models of underwater objects in various software were evaluated. At the same time, the general procedure results of the produced 3D models were examined and suggestions were made about what should be considered when making photogrammetric valuation in the underwater environment. As a result, the usability of the underwater photogrammetry method was tested and a comparative analysis of the photogrammetric software was made.

Keywords: Underwater, Photogrammetry, Underwater Photogrammetry, Underwater Modelling, Photogrammetric Analysis.

Advisor: Asst. Prof., Ali Ulvi, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ'ye teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Murat YAKAR'a, deney aşamalarında yanımda olan, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen ve kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım sayın hocam Öğr. Gör. Şafak FİDAN'a yine çalışmamda yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmamın son aşamasına kadar hoşgörü ve desteğini esirgemeyen ve gelecekteki hayatında çok daha başarılı olacağına inandığım kıymetli Arş. Gör. Abdurahman Yasin Yiğit'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ek olarak tez çalışmamın arazi aşamasında ekipmanları kullanmama olanak tanıyan Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (DEHAM) Müdür ve Müdür yardımcısına ve ofis aşamasında Fotogrametri laboratuvarındaki donanımları kullanmama olanak tanıyan Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Emel HAMAL ve babam Eyyüp HAMAL ile tez çalışmam boyunca üzüntü ve sevinçlerimi paylaşan, değerli kardeşim Senanur Gizem HAMAL'a teşekkürlerimi sunarım. Zorlu çalışma döneminde destek olan, ayakta kalmam konusunda bana güç veren yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-1-TP2-4295 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Hipotez	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Literatür Taraması	3
2.2. Fotogrametri	8
2.3. Su Altı Fotogrametrisi	9
2.4. Su Altı Fotogrametrisinin Temel Zorlukları	10
2.4.1. Işık ve Aydınlatma	11
2.4.2. Kırılma ve Yansıma	11
2.4.3. Renk Kaybı	13
2.4.4. Su Parçacıkları	14
2.4.5. Sudaki Tuzluluk Oranı	14
2.4.6. İnsan Sağlığı	14
2.5. Kamera Kalibrasyonu	15
2.5.1. Kırılma Ölçeği	16
2.5.2. Snell Yasası	17
2.5.3. Havadaki Giriş Açıklığı	18
2.5.4. Camdaki Giriş Açıklığı	19
2.5.5. Ortamın Giriş Açıklığı	20
2.5.6. Işığın Zayıflaması	20
2.5.7. Görüntü İyileştirme	20
2.6. Video-Çerçeve Fotogrametrisi	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Kamera ve Muhafazası	25
3.2. Koordinatlandırma Çerçevesi	26
3.3. Veri Toplama ve İşleme	27
3.3.1. Havuz Çalışması (Deney I)	28
3.3.2. Akarsu Çalışması (Deney II)	29
3.3.3. Deniz Çalışması (Deney III)	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. Havuz Çalışması (Deney I)	33
4.2. Akarsu Çalışması (Deney II)	36
4.2.1. Agisoft Metashape (AG) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	37
4.2.2. Context Capture (CC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	39
4.2.3. Reality Capture (RC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	40
4.3. Deniz Çalışması (Deney III)	42
4.3.1. Agisoft Metashape (AG) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	43
4.3.2. Context Capture (CC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	43
4.3.3. Reality Capture (RC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç	44
4.4. Genel Prosedür Sonuçları	47
4.5. Analiz ve Karşılaştırma	50

	Sayfa
4.5.1. C2C Analizi	51
4.5.2. Pürüzlülük Analizi	57
4.5.3. Yüzey Yoğunluğu Analizi	58
4.5.4. Analiz Karşılaştırmaları	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	72



TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ortamların indisleri.	16
Tablo 3.1. Aksiyon kameralarının teknik özellikleri.	26
Tablo 4.1. Deney I'de veri işleme süreci.	36
Tablo 4.2. Deney II için tüm yazılımlarda k1 ve k2 kamera hizalama değerleri.	42
Tablo 4.3. Deney II için tüm yazılımlarda k1 ve k2 kamera hizalama değerleri	46
Tablo 4.4. Deney II'deki ikinci objenin genel prosedür sonuçları.	49
Tablo 4.5. Deney III'teki ikinci objenin genel prosedür sonuçları.	49
Tablo 4.6 Deney II'in ikinci modelinde nokta bulutların C2C analizine göre değerleri.	52
Tablo 4.7. Deney III'ün ikinci modelinde nokta bulutların C2C analizine göre değerleri.	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya çapında su altı fotogrametrisi ile ilgili çalışmalar.	3
Şekil 2.2. Türkiye’de su altı fotogrametrisi ile ilgili çalışmalar.	3
Şekil 2.3. Asherah denizaltısı	4
Şekil 2.4. Dramont batığına kullanılan metal çerçeve	5
Şekil 2.5. DSLR Nikon kamerası için Equinox Muhafazaları	7
Şekil 2.6. Fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.	9
Şekil 2.7. Su altı fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.	9
Şekil 2.8. Donanım bölümündeki temel zorluklar.	10
Şekil 2.9. Fizik/Fizyoloji bölümündeki temel zorluklar.	11
Şekil 2.10. Sığ suda öğle vakti (solda) ve öğleden sonra (sağda)	12
Şekil 2.11. Farklı dalga boylarında renk kayıpları.	13
Şekil 2.12. Su altı ortamında kumlardan oluşan bulanık görüntü.	14
Şekil 2.13. Azot birikimi	15
Şekil 2.14. Snell yasasına göre ışığın yayılımı.	17
Şekil 2.15. Ortamdan gelen ışının, değişime uğrayarak kırılma düzlemiyle kesişmesi.	18
Şekil 2.16. Havadaki Giriş Açıklığı (a), Camdaki Giriş Açıklığı (b), Ortamın Giriş Açıklığı (c).	19
Şekil 2.17. Kendi kendine kalibrasyon için ideal geometri.	22
Şekil 2.18. Su altı fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.	23
Şekil 3.1. k1-(a), k2-(b), k3-(c); kameraları ve muhafazaları.	25
Şekil 3.2. Koordinatlandırma çerçevesi.	27
Şekil 3.3. Havuz çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).	29
Şekil 3.4. Akarsu çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).	30
Şekil 3.5. Deniz çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).	31
Şekil 4.1. Güneş ışınlarının kırılmadan dolayı oluşturduğu yansımalar.	33
Şekil 4.2. Suyun Bulanıklığı.	34
Şekil 4.3. Deney I’ın birinci objesinin yoğun nokta bulutu görseli.	35
Şekil 4.4. Deney I’ın ikinci objesinin yoğun nokta bulutu görseli.	35
Şekil 4.5. Güneş ışınlarının kırılmadan dolayı oluşturduğu yansımalar.	37
Şekil 4.6. Deney II, ikinci objenin k1 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.	41
Şekil 4.7. Deney II, ikinci objenin k2 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.	41
Şekil 4.8. Deney III, ikinci objenin k1 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.	45
Şekil 4.9. Deney III, ikinci objenin k2 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.	46
Şekil 4.10. Deney II’nin ikinci obje yoğun nokta bulutu yüzdeleri.	48
Şekil 4.11. Deney III’ün ikinci obje yoğun nokta bulutu yüzdeleri.	48
Şekil 4.12. Deney II’den (ikinci obje-K1) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.	53
Şekil 4.13. Deney II’den (ikinci obje-K2) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.	54
Şekil 4.14. Deney III’den (ikinci obje-K1) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.	55
Şekil 4.15. Deney III’den (ikinci obje-K2) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.	56
Şekil 4.16. Deney II’nin pürüzlülük değerleri.	57
Şekil 4.17. Deney III’ün pürüzlülük değerleri.	58
Şekil 4.18. Deney II’nin yüzey yoğunluğu.	59
Şekil 4.19. Deney III’ün yüzey yoğunluğu.	60
Şekil 4.20. Deney II’nin ikinci objesinde yazılımların ürettiği nokta bulutlarının C3Dm analizi.	62
Şekil 4.21. Deney III’nin ikinci objesinde yazılımların ürettiği nokta bulutlarının C3Dm analizi.	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
SfM	Structure from Motion
3B	Üç Boyutlu
NSIDC	National Snow and Ice Data Center
ROV	Remotely Operated Underwater Vehicle
SVP	Single Viewpoint
k1	GoPro Hero 9 Black
k2	SJCam SJ4000
k3	Piranha 1125
AG	Agisoft Metashape
CC	Context Capture
RC	Reality Capture



1. GİRİŞ

Dünyanın yaklaşık %70'i sularla kaplıdır. İnsanlar içinde bulunduğu dünyada anakarada araştırmalarını çok rahat bir şekilde yaparken su altında durum aynı değildir. Su altı yaşamın keşfi, arkeolojik kalıntılar, biyolojik kaynaklar ve su altı ekosistemi araştırmaları uzun süreli çalışmalarla keşfedilmeye çalışılmış ancak eksik ve yetersiz kalmıştır (Pacheco-Ruiz vd., 2018; Doležal vd., 2019).

Su altı çalışmalarında belgeleme çalışmaları yaygın kullanılmaktadır. Belgeleme çalışmalarında su altında bulunan arkeolojik kalıntıların uzunlukları alanları vb. hesaplamak için yerinde ölçüm teknikleri kullanılmıştır. Ancak yerinde ölçüm tekniğinin birçok kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu teknikte ölçümler yapılırken, su altında ulaşılamayan alanlar ölçülemez ve eksik bilgi aktarımına neden olmuştur. Ek olarak bu alanlarda geleneksel yöntemlerle üretilen iki boyutlu haritalar da yetersiz kalmıştır (McCarthy vd., 2014; Balletti vd., 2015; Drap vd., 2013).

Son yıllarda kameraların su altına entegre edilebilmesi gibi teknolojik gelişmelerin etkisiyle araştırmacılar su altı fotogrametri çalışmalarına yönelmiştir. Böylelikle arkeolojik kalıntıların belgelenmesi, biyolojik çeşitlilikte artış ve azalış gibi konularda fotogrametri yöntemiyle çalışmalar başlanmıştır (Urbina-Barreto vd., 2022; Nocerino vd., 2022; Skarlatos vd., 2021).

Fotogrametri farklı bakış açılarından çekilmiş çok sayıda fotoğraftan bir nesnenin veya alanın üç boyutlu (3B) modelinin oluşturulması olarak tanımlanmaktadır (Figueira vd., 2015). Fotogrametri ilk olarak karasal uygulamalar için geliştirilmiş ve daha sonra 1970'lerde arkeologlar tarafından su altı kullanımı için tanıtılmıştır (Drap, 2012). Bu teknik son on yılda etkileyici bir büyüme göstermiştir ve şimdi modern arkeoloji çalışmaları, deniz ekolojisinde habitat yapısı ile ekolojik topluluklar arasındaki etkileşimleri incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Nawaf vd., 2021).

Son yıllarda fotogrametrinin alt bilim dalı olarak literatüre giren su altı fotogrametrisi, çeşitli sistem ve metodolojilere dayanmaktadır. Suyun optik özellikleri ve aydınlatma koşulları, su altı görüntülerini ciddi şekilde etkilemektedir. Işık emilimi çoğunlukla kırmızı dalga boylarını etkilediğinden, derinlik arttıkça renkler farklı hızlarda emilir, bu da yeşil-mavi bir görüntüyle sonuçlanır. Su ayrıca ışık enerjisini emer ve optik ışınları dağıtarak bulanık görüntüler oluşturmaktadır. Bu durumlar su altı fotogrametrik çalışanlarına engel olmuştur. Ancak son yıllarda gelişen Nesne Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from motion/SfM) tabanlı yazılımlar sayesinde bu durumları nispeten daha az etkilemektedir (Raoult vd., 2016; Casella vd., 2017; Vlachos vd., 2018).

1.1. Amaç ve Kapsam

Su altı ortamında fotogrametri yöntemi kullanılarak su altındaki nesnelerin 3B modelinin çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu hedef doğrultusunda su altı ortamında fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerden SfM algoritması kullanılarak söz konusu objelerin 3B modeli üretilmiştir. 3B modeller ile eserler görselleştirilebilecek ve sanal olarak gezinme imkânı doğabilecektir. Bu doğrultuda sanal su altı müzelerinin kurulmasına, turistik faaliyetlerin ivme kazanmasına ve bunun sonucu olarak da ülke ekonomisine katma değer kazandırabileceği öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasında 3 farklı ortama (havuz, akarsu, deniz) objeler sırasıyla yerleştirilmiştir. Ölçüm yapılmadan önce objenin etrafına koordinatlandırma çerçevesi ve hedef işaretleri yerleştirildikten sonra fotoğraf ve video çekimi yapılmıştır. Her iki veri toplama tekniği ile toplanan verilerden aynı koordinat sisteminde nokta bulutları elde edilmiş ve bu nokta bulutları arasında analizler yapılmıştır.

1.2. Hipotez

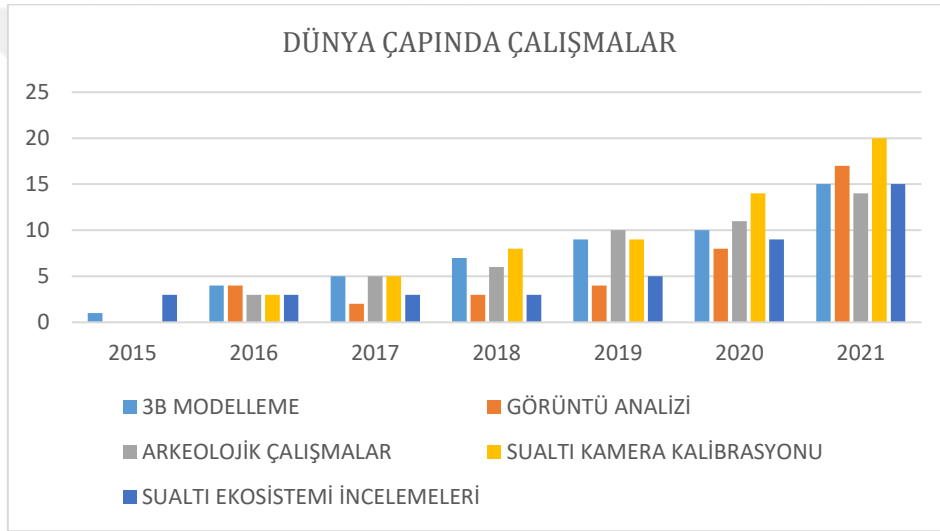
Fotogrametrik yöntem ile yüksek çözünürlüklü 3B modeller üretilebilir ve belgeleme çalışmaları yapılabilir. Teknolojik donanım ve yazılımların gelişmesi ile birlikte fotogrametri yöntemi su altında da etkin bir şekilde kullanılabilir. Su altı fotogrametrisi ile beraber su altında bulunan birçok obje sayısal ortamda yüksek çözünürlükte ve hassasiyette yeniden sahnelenerek 3B modeller ile çeşitli analizler yapılarak sayısal arşivler oluşturulabilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

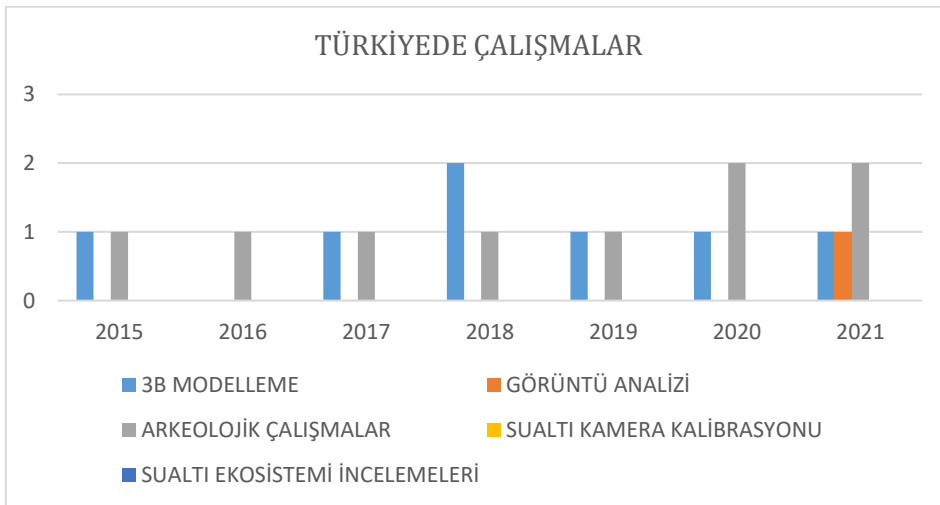
Bu bölümde su altı fotogrametrisi ile ilgili literatür araştırmaları incelenmiş ve sunulan çözüm önerileri belirtilmiştir.

2.1. Literatür Taraması

Su altı fotogrametrisi yöntemi ile literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bunlardan bazıları su altı ekosistemini inceleme, arkeolojik çalışmalar, su altı kamera kalibrasyonları, 3B modelleme ve su altı görüntü analizleridir. Bu çalışmalar dünya çapında büyük ilgi görmesine rağmen Türkiye’de bu ilgi neredeyse yok denecek kadar azdır (Şekil 2.1; Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Dünya çapında su altı fotogrametrisi ile ilgili çalışmalar.



Şekil 2.2. Türkiye’de su altı fotogrametrisi ile ilgili çalışmalar.

Bir kutu içine yerleştirilmiş kamera ile 1856'da ilk su altı görüntüleri elde edilmiştir. Ardından cam bir tabağın içerisine yerleştirilen kamera ile de denizde fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Bir dalgıç tarafından çekilen ilk fotoğraflar da 1893'e dayanmaktadır ve 1914'te ilk küresel bir gözlem odasından fotoğraf çekilmiştir (Martínez-Santos ve Martínez-Alfaro, 2014). Sonraki yıllarda kamera muhafazaları kullanılarak dalgıçlardan tarafından su altı fotoğraflar çekilmiş ve ilk deneyler gerçekleştirilmiştir. 1930'larda etkili su geçirmez muhafazaların icadından sonra hareketsiz ve film kameraları su altında yoğun bir şekilde kullanılmıştır.

Aqua Lung ismi verilen basınç regülatörünün 1950'li yıllarda icat edilmesi, dalgıçlara su altı alanlarına ulaşma ve bu alanları araştırma imkânı vermiştir. Jacques-Yves Cousteau'nun Büyük Congloué ismi verilen kazısının büyük bir dönüm noktası oluşturduğu 1950'lerde su altı uzun metrajlı filmler yayınlanmış ve deniz ortamını kaydetmek için su altı televizyon kameralarının ilk belgelenmiş kullanımları gerçekleştirilmiştir (Barnes 1952). 1957'de hem su üstünde hem de su altında kullanılabilen ilk su geçirmez 35 mm kamera icat edilmiştir ve daha sonra değiştirilebilir, su geçirmez lenslere sahip Nikonos serisi kameralar için geliştirilmiştir.

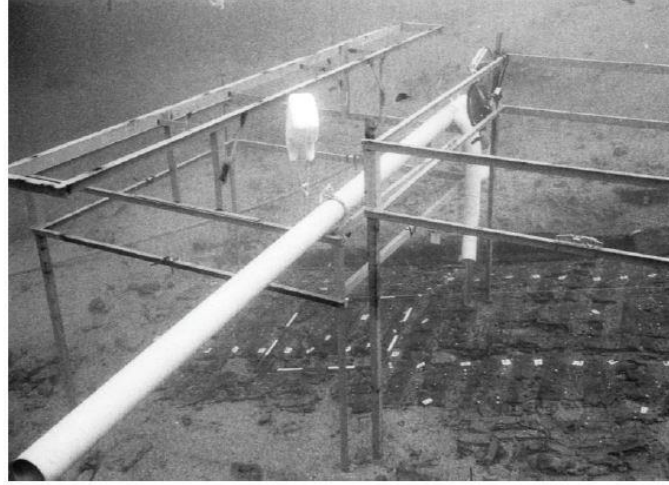
1960'lı yıllarda ise araştırmacılar, yersel yöntemlerle elde edilmiş verilerin su altında da aynı yöntemlerle elde edilip edilemediğinden emin olabilmek için dalış yapmayı uygun görmüşlerdir. Öncelikle klasik kazıbilimci yaklaşımıyla cismi yerinden oynatmadan ve ona zarar vermeden kazarak net enkazı elde etmeye çalışılmıştır. Ardından ise, yersel ölçmelerde kullanılan optik mekanik aletleri su altında kullanması denenmiş ama yatay düzlemler ve düşey kesitler için beklenen sonuca varılamamıştır. Her ne kadar işaret levhaları yerleştirilse de bu işaretlerin konumlarının belirlenmesi, istenilen bir şekilde gerçekleştirilememiştir (Granshaw, 1980; Drap, 2012; Shortis 2019).

Buradan hareketle ilk resmî su altı fotogrametrik çalışma denemeleri, 1960'lı yıllarda görülmektedir. Su altında fotogrametrik denemelerin ardından ilk çalışma, Fransa'nın Marsilya şehrinde bir su altı batığında gerçekleştirilmiştir (Drap, 2015; Kaya vd., 2019). Bu çalışmaların anlamlı sonuçlar verebilmesi için gerekli olan stereoskopik çekim aşamaları ve donanımlı ekipmanlar gerektirmekteydi. 1964 yılında Amerika Pensilvanya Üniversitesi tarafından su altı arkeolojisi için tasarlanmış ve Şekil 2.3'te görülebilen Asherah isimli bir denizaltı, bu çalışmada kullanılmıştır. Aslında bu denizaltı aracının ilk kullanımı Yassı Ada'da 42 metre derinlikteki bir batığın ölçülmesinde olmuştur (Drap, 2015; Kaya vd., 2019).



Şekil 2.3. Asherah denizaltısı (Drap, 2015).

Ashera denizaltı aracına, iki tane çift kamera yerleştirilmiştir. Ayrıca Marsilya'da ölçme işlemini gerçekleştirecek dalgıç ekibine de yardımcı olması için Şekil 2.4'te bir örneği gösterilen metal yapıda sabit ve kaydırılabilen ekipmanlar tahsis edilmiştir. Bu ekipmanlar, çekim yapacak dalgıçları yönlendirmek üzere alana yerleştirilmiştir. Çekimler fizyolojiye, kişiye ve stereoskopik koşullara bağlı olarak gerçekleşmiştir. Bu stereoskopik koşullar için optik eksenlerin paralelliği ve dönüklükten (optik eksenlerin dönüklüğü) bahsedilebilir.



Şekil 2.4. Dramont batığını kullanılan metal çerçeve (Drap, 2015).

Su altı fotogrametrisinde bu karmaşık ve ağır yaklaşım hem stereoskopik çekim tekniği açısından hem de çift resim kullanılarak gerçekleştirilen yeniden görüntü elde etme tekniklerinde uzun yıllar boyunca büyük sorunların meydana gelmesine sebep olmuştur. Su altı araştırmalarda bu yöntemi klasik bir yöntem olarak kabul ederek uzun süreler boyunca çalışmak, maddi anlamda külfetli ve ayrıca çok fazla zaman alıcı olmuştur. Ek olarak kullanılan ekipmanın taşınması ve ekipmanı kullanacak olan çalışanın son derece nitelikli olması gerekmektedir. Öte yandan su altı ortamındaki su bulanıklığı, suda asılı parçacıklar gibi optik mekanizma için sorun teşkil edebilecek bir ortamın spesifik kısıtlamaları giderilmediği için, yüksek doğrulukla veri elde edilememekte ve hassas çalışmalar yapılamamaktaydı (Drap, 2012; Kaya vd., 2019).

Kültürel Mirasın belgelenmesinde 1964 yılında su altı fotogrametrisi yöntemi ile stereo kamera kullanılarak geç roma dönemine ait batık bir geminin haritalandırılması gerçekleştirilmiştir (Wheeler vd., 1966). Dalgıçlar tarafından kontrol edilen, çekili gövde sistemlerine monte edilen Nikonos kamera çiftlerinin kullanıldığı diğer gemi enkazları araştırmaları kısa süre sonra yapılmıştır (Höhle 1971; Maas, 2015).

1980'li yılların sonunda, maliyetli bir yöntem olmasından dolayı fotogrametri teknikleri saf dışı edilerek farklı bir ölçme yöntemi benimsenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde, video kayıtları veya resimler kullanılarak ortalama 50 santimetre doğrulukta verilerle ölçmeler sınırlandırılmıştır.

1990'lı yılların başında, derinde yer alan bir batık olan Plage d'Arles 4'ün incelenmesi için stereo fotogrametri tekrar devreye girmiş ve yarı-metrik orta formatlı kameralar kullanılmıştır. 1996'nın sonlarına doğru, son dönemin teknikleri ile 64 metre derinlikteki Sud-Caveaux 1 batığı modellenmiştir.

Kültürel mirasın belgelenmesinin yanında literatürde geniş bir yeri olan su altı ekosistemi çalışmaları da su altı fotogrametri yöntemiyle yapılmaktadır. Deniz habitatının korunması, mercan resiflerinin izlenmesi, biyolojik çeşitlilik izleme ve balıkçılık stok değerlendirmesi, balığın yaşı ve biyokütlesi uzunluk ölçümüne ve uzunluk-ağırlık veya uzunluk-yaş regresyonuna dayalı olarak güvenilir bir şekilde tahmin edilmiştir (Mallet ve Pelletier 2014).

2000'li yılların başlarında ekipman ve tekniklerdeki yeni gelişmeler, ölçüm tekniğinin etkinliğini ve çıktıların üretimini önemli ölçüde artırmıştır. Hem hareketsiz görüntüleri hem de video sekanslarını yakalayabilen yüksek çözünürlüklü sensörlere sahip geniş bir su altı özellikli sayısal kamera yelpazesi oluşmuştur. Stereo fotoğrafların oldukça kısıtlanmış kalıpları ve geleneksel, manuel fotogrametrik çözümlerden ziyade, tek bir kameradan alınan birçok fotoğraf SfM ilkesi ile, otomatik olarak ayrıntılı bir 3B model oluşturmak için kullanılmıştır (Drap vd., 2013; Rossi vd., 2021; Nakath vd., 2022).

2000'li yıllarda Fotogrametrik yazılım paketlerinin yükselişi, SfM algoritmalarını kullanan ticari yazılımlardan önce neredeyse imkânsız olan 3B modelleme çalışmaları, bu algoritma ile su altı fotogrametrik çalışmalara yardımcı olmuştur. Son yıllarda ticari yazılım pazarı genişlediğinden dolayı SfM algoritmasını kullanan birçok yazılım paketleri ortaya çıkmıştır. Bu durumda da su altı ortamının nokta bulutları üzerinde mevcut birkaç fotogrametrik yazılım paketinden hangisinin daha iyi sonuçlar sağlayabileceği tartışma konusu olmuştur (Drap vd., 2015).

Burns ve Delparte (2017) yaptığı çalışmada, su altı mercan resiflerini farklı kamera açılarında ve farklı yüksekliklerde verileri toplayarak 3B nokta bulutunu Agisoft Metashape ve Pix4D yazılımlarında elde etmişlerdir. Daha sonra bu iki yazılımın verdiği hataları karşılaştırmışlar ve elde edilen nokta bulutlarını Welch t-test istatistik analizi yaparak karşılaştırma yapmışlardır. Mangeruga vd. (2018), araştırmalarında farklı derinlik, bulanıklık ve aydınlatma koşullarına sahip çeşitli su altı alanlarından veri toplamıştır. Bu veri setleri farklı yazılımlarda nokta bulutları üretmek için karşılaştırma yapmışlardır. Vlachos vd (2019), araştırmalarında ise arkeolojik bir alanın veri toplama işlemini yaptıktan sonra Agisoft Metashape, VisualSFM, SURE, 3D Zephyr ve Reality Capture yazılımlarında işlemişlerdir. Ardından cloud to cloud ve yüzey yoğunluğu analizler yaparak yazılımlar arası karşılaştırma yapmışlardır.

Su altı fotogrametri yönteminde kullanılan muhafazaların doğruluğunu araştırmak amacıyla su altı kamera muhafazalarının geometrik bir incelemesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada Nikon D300 fotoğraf makinesi için özel olarak tasarlanmış NiMAR marka muhafaza tercih edilmiştir (Şekil 2.5). Yazarlar tarafından Costa Concordia gemi yarığının su altı ve hava ortak araştırması için kullanılmıştır (Menna vd., 2016). Çalışmanın amacında, su altında çalışan bir kamerayı içeren temel optik olayları fotogrametrik yöntemlerle analiz etmektir. Fotogrametrik kazanımlarla ilgili belirli hususlar dikkate

alınmış ve pratik öneriler sunulmuştur. Sunulan araştırma kapsamında, fotogrametrik uygulamalar için su altı kamera muhafazalarını kalibre etmek ve test etmek için deney düzenekleri tasarlanmıştır. Su altı kamera muhafazalarını sistematik testler tasarlamak ve uygulamak için hem simülasyonlar hem de su altı testleri yapılmıştır. Hem düz hem de kubbeli su altı limanları için teorik grafikler ve optik hesaplamalar, ücretsiz olarak temin edilebilen WinLens 3D Basic ve Predesigner ve Qioptiq yazılımlar kullanılarak elde edilmiştir.

Kamera merceği ve su altı kasa-port sistemi için optik bozulmalar, optik ve fotogrametride iyi bilinen formüllere dayanmaktadır ve yazarlar tarafından Matlab'da kodlanmıştır. 2 metre derinliğindeki yüzme havuzunda su altı çekimleri yapılmıştır.



Şekil 2.5. DSLR Nikon kamerası için Equinox Muhafazaları (Menna vd., 2016).

Düz ve kubbe camların başlıca avantajları ve dezavantajları, özellikle fotogrametrik planlamada kullanılan parametrelerle ilgili olarak sunulmuştur. Kubbe bağlantı noktaları tarafından oluşturulan sanal görüntülerin kavramlarını, ölçme ve fotogrametri konusunda uzman olmayanlar için anlamının zor olduğunu ve sahada yanlış veya optimize edilmemiş uygulamalara yol açılabileceği görülmüştür (Menna vd., 2016).

Gelişen teknolojiler ve donanımlara erişim imkânlarının artması sayesinde amatör kamera kullanıcıları da su altı fotogrametri yöntemi kolay bir şekilde kullanabilmektedir. Fotogrametri tekniğinin diğer tekniklerden ayıran bir diğer özelliği de insan sağlığını tehlikeye atmamasıdır. Fakat su altı fotogrametri çalışmalarında bu durum tam tersidir. Özellikle su altı fotogrametri çalışmalarını gerçekleştirecek operatörlerin profesyonel eğitim alması gerekmektedir. Her ne kadar eğitim alınsa da insan fizyolojisi gereği bir dalgıcın derinliğe ve dalış süresine bağlı olarak vücuttaki azot birikmesinden dolayı günde ortalama üçten fazla dalış yapılmaması önerilmektedir (Güneş, 2019; Kahraman vd., 2012). Dolayısıyla dalgıçların su altında geçirdikleri süre kısıtlıdır. Bu yüzden insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek sürede ölçüm yapılması gerekmektedir. Ancak çalışma alanının büyük olduğu durumlarda fotoğraf çekimi günler hatta haftalar alabilmektedir. Yamafune (2016), çalışmasında video kaydeden bir dalgıcın aynı sürede fotoğraf çeken diğer bir dalgıçtan dört kat daha büyük bir alanın verisini elde edebildiğini savunmuştur. Bu durumda video çekimi ile daha kısa sürede daha fazla alanın ölçümünün yapılabileceği bilimsel çalışmalar ile desteklenmiştir (Yamafune, 2016). Çalışmanın deneylerinden sonra ölçüm süresini olabildiğince azaltmak için video çekim yöntemi ile fotogrametri çalışmaları başlamıştır.

2.2. Fotogrametri

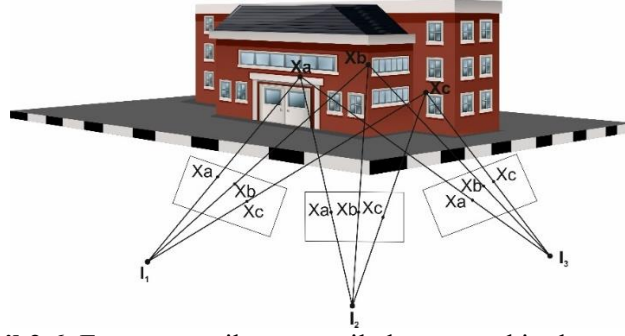
Fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bilim dalıdır (Gürbüz, 2006; Polat vd., 2020; Ulvi vd., 2019; Şekil 2.6).

Fotogrametrinin haritacılıktaki uygulama alanları:

- Ülke ölçmelerinde jeodezik ülke ağının sıklaştırılması,
- Büyük, orta ve küçük ölçekli topografik haritaların yapımında
- 1/5000 ölçekli kadastral haritaların yapımında
- Bölge şehir ve imar planlarının hazırlanmasında özellikle ortofoto üretimi için fotogrametri geniş oranda kullanılmaktadır.
- Arazi toplulaştırması çalışmaları için sayısal vektör ve ortofoto harita üretiminde
- Fotogrametrinin yukarıda sayılan klasik haritacılık işlerinden başka yoğun bir şekilde kullanıldığı sınırsız alan vardır.
- Planlama ve alt yapı çalışmalarında
- Ziraat, ormancılık ve zoolojide
- Jeolojide, buzulların araştırılmasında
- Coğrafya ve jeomorfolojide
- Mimarlık, tarihi eserlerin restorasyonu ve korunmasında, arkeolojide
- Olay ve kaza yerlerinin alımında
- Balistik uydu jeodezisi ve uzaktan algılamada
- Konum, hız ve deformasyon ölçülerinde
- Dalga hareketlerinin ve yer kabuğunun izlenmesinde
- Tıbbi görüntülerin değerlendirilmesinde
- Askeri çalışmalarda
- Meteoroloji, astronomi, fizik, yer fiziği ve mikroskobik ölçmelerde
- Otomotivde, gemi, uçak yapımı, model denemeleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Ykar vd., 2016).

Resim Çekilen Yerin Konumuna göre fotogrametri:

- Uydu Fotogrametrisi
- Hava Fotogrametrisi
- İHA Fotogrametrisi
- Yakın Resim (Yersel) Fotogrametri
- Su altı Fotogrametrisi olarak sınıflandırılır.

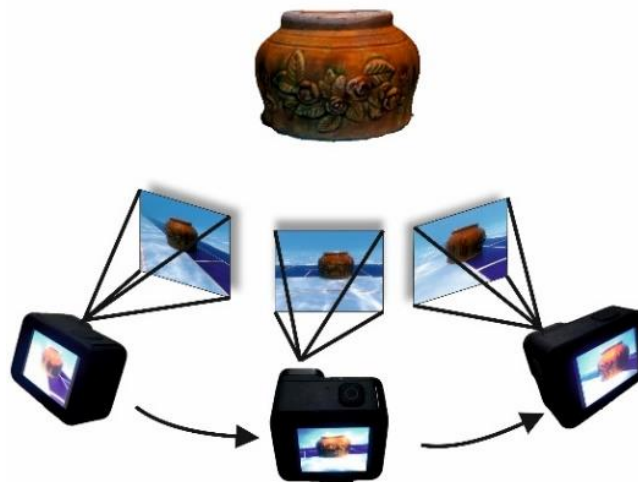


Şekil 2.6. Fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.

Bu çalışmanın konusu su altı fotogrametrisi yöntemiyle veri elde etme olduğundan su altı fotogrametrisi anlatılacaktır.

2.3. Su Altı Fotogrametrisi

Su altı fotogrametrisi, fotogrametriden farklı olmamakla birlikte nesne ile teması olmadan su altında iki boyutlu çekilen fotoğraflardan 3B model oluşturulmasına denilmektedir (Şekil 2.7). Su altı fotogrametrisi yöntemi ile gemi enkazları, arkeolojik çalışmalar, biyolojik kaynaklar, su altı ekosistemi, köprü restorasyon çalışmaları gibi birçok alanda çalışmalar yapılmaktadır. Bu tekniğin kullanımında en popüler araçlardan biri de sayısal kameradır (Yamafune vd., 2017; Hamal vd, 2021). Sayısal kameraların çoğu, su altı incelemelerine uygun olması için uygun bir lens bağlantı noktasına sahip özel bir su altı muhafazası gerektirir. Bu kameraları kullanmak için profesyonel dalgıçlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak sayısal kameralar kadar olmasa da yüksek çözünürlük GoPro gibi aksiyon kameralar kullanılarak profesyonel dalgıçlara gerek duyulmadan çalışmalar yapılmaktadır (Yamafune vd., 2017). Ancak bu kameraların kullanımı ve ortamın su olmasından dolayı su altı fotogrametrisinin temel zorlukları bulunmaktadır (Anelli vd., 2019).



Şekil 2.7. Su altı fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.

2.4. Su Altı Fotogrametrisinin Temel Zorlukları

Su altı fotogrametri yönteminde uygulama öncesi, uygulama aşamasında ve uygulama sonrasında temel zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar donanım ve fizik/fizyoloji olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.8; Şekil 2.9).

Donanım bölümünde kamera-muhafaza ve dalış ekipmanları olmak üzere ikiye ayrılır. Kamera-muhafaza su altı fotogrametrisi için büyük bir masrafa sahiptir. Teknolojinin gelişimiyle modern kameraların piyasaya çıkması su altı fotogrametrisinin kullanımına olanak tanınmasını sağlarken, maliyetli olması bu alanda çalışan her insanın edinimine olanak tanımamaktadır (Casella vd.,2017; Figueira vd., 2015; Maas ve Luhmann; 2022).

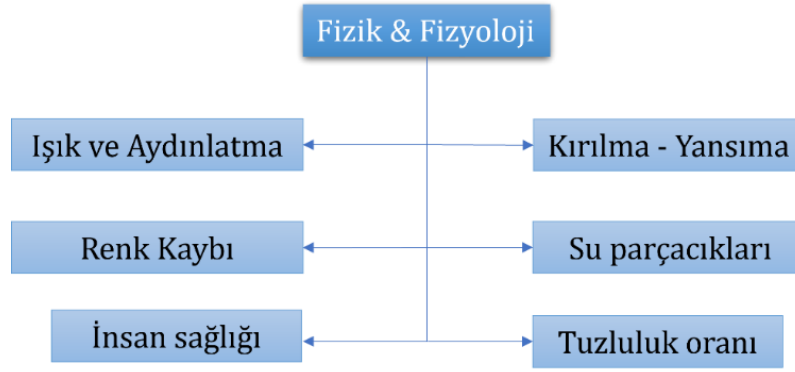
Ani değişen hava koşulları, su altı akıntıları, su hareketi ve su altında kısıtlı süre kalındığı için iyi bir planlamaya sahip olmak çok önemlidir. Fotogrametrik çekim esasına uygun çekim yapabilmek için su altı ortamında deneyimli ve yetkin bir dalgıca ihtiyaç vardır. Çünkü özellikle sığ sularda dalgıç tarafından gerçekleştirilen fotogrametrik çalışmalarda suyun kaldırma kuvveti kontrol edilemediğinden kamera pozisyonu, kamera açısı, kamera hareket hızı ve görüntü sabitleme gibi sıkıntılar ortaya çıkabilir.

Dalış ekipmanları ise aynı şekilde yüksek maliyetli olup depolama sıkıntısı vardır. Ek olarak bakım ve temizliğini yapabilmek için deneyimli bir çalışana da ihtiyaç vardır (Drap, 2012; Demesticha vd., 2014; Doležal vd., 2019).



Şekil 2.8. Donanım bölümündeki temel zorluklar.

Fizik/Fizyolojik bölümündeki zorluklar Şekil 2.9'daki gibi altıya ayrılmaktadır.



Şekil 2.9. Fizik/Fizyoloji bölümündeki temel zorluklar.

2.4.1. Işık ve Aydınlatma

Tahmin edilemeyen su altı ortamı, öngörülemeyen hava değişikliği gölge sorunu ve yansıma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunlara yardımcı olmak için su altında yapay ışık kaynakları gerekebilir (Mallet ve Pelletier, 2014; Menna, 2018).

Daha sığ derinliklerde olan alanlarda, güneş ışığının su yüzeyinden ve araştırma nesnesinden yansımaları önlemek için, öğleden sonra geç saatlerde ölçüm yapılması tavsiye edilir.

Menna (2018)'de çalışmasında bahsettiği üzere su altı ortamında, özellikle derin yerlerde, elektronik flaşlar gibi yapay ışık kaynakları kullanmanın gerekli olduğunu çünkü hem renklerin olduğu gibi yansıtılabildiğini hem de görüş açısının kısıtlı olmasından dolayı oluşan açıklığın telafi edilebildiğini savunmaktadır.

2.4.2. Kırılma ve Yansıma

Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi – NSIDC tarafından gerçekleştirilen araştırmada, deniz yüzeyine gelen güneş ışınlarının yaklaşık %94'ü suyla etkileşime girer ve su tarafından tutulur (Menna, 2018). Yeryüzüne bağlı olarak güneşin yüksekliği, günün hangi vakti olduğu, mevsim ve deniz suyunun koşulları suyun yansıtılma veya soğurulma miktarını etkilemektedir (Menna 2018; Kaya vd., 2019; Nocerino vd., 2021).

Agrafiotis (2018)'in tanımladığı üzere Şekil 2.10'da de bir örneği yer alan, rüzgârdan dolayı oluşan esme, su yüzeyindeki güneş ışınlarının titreşmesine sebep olur ve böylece su tabanında veya tabanda yer alan nesnelere üzerinde kostikler olarak adlandırılan parlak dokular meydana gelir.



Şekil 2.10. Sığ suda öğle vakti (solda) ve öğleden sonra (sağda) çekilen fotoğraflar (Menna, 2018; Kaya vd., 2019).

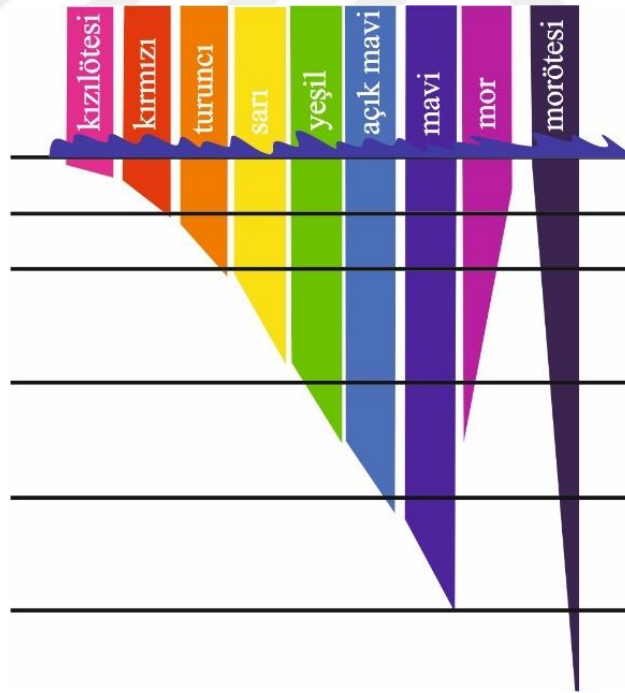
Kostikler fotogrametrik uygulamalar için istenmeyen bir durumdur. Çünkü bu durum, düşük kaliteli nesne dokusu oluşturduğu kadar fotoğraftan iki boyutlu içerik verilerinin çıkarılmasını da etkiler. Işık kostiklerinin yoğunluğu, güneş geliş açısının eğimine, su bulanıklığına ve derinliğe bağlıdır ancak birkaç metreden sonra etkisi gittikçe düşmektedir (Menna 2018; Kaya vd., 2019). Menna (2018) yaptığı çalışmada su altı ortamlarda, özellikle derin yerlerde, elektronik flaşlar gibi yapay ışık kaynakları kullanmanın gerekli olduğunu çünkü hem renklerin olduğu gibi yansıtılabildiğini hem de görüş açısının kısıtlı olmasından dolayı oluşan açıklığın telafi edilebildiğini savunmuştur. Genel bir kabul olarak, 10 metre derinliğe kadar olan sularda, su kostiği denilen kırınım etkileri aktif ışımsal sensörler için problem teşkil edebilir.

Agrafiotis vd. (2018)'in araştırmalarında derin sularda fotogrametrik uygulamaların daha yüksek parlaklık koşullarının sağlandığı öğle saatlerinde gerçekleştirilmesine karşın, sığ sularda görüntü örtü oranının sağlanması, güneşin alçak yörüngede yer alması, deniz yüzeyindeki yapay görüntülerden kaçınılması gibi sebeplerden dolayısıyla güçlü yapay ışık kaynaklarına gereksinim olduğunu belirtmiştir. Tüm bu ışık temelli problemlerin yanı sıra bir de veri elde etme aşamasında sığ sularda dalgıç tarafından gerçekleştirilen fotogrametrik çalışmalarda suyun kaldırma kuvvetini kontrol edememekten dolayısıyla de sıkıntılar ortaya çıkabilir. Bu doğrultuda, dalgalar dalgıcın ve kameranın denge durumunu zorlayabilir. Tüm bu durumlar pek tabii derin sularda da suyun debisinden kaynaklı zorluklara da sebebiyet verebilir. Sığ sularda yapılan çalışmalarda kamera mesafesi ile görüntüsü alınan obje arasındaki mesafe 1 metreden az olacak kadar kısa olması durumu pek tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü kameranın konumlandırıldığı nokta tam olarak işaretlenememekte, işlenecek veri miktarı artmakta, görüntü ölçeği büyümektedir ve bu da veriyi işleme zamanının artmasıyla depolama kapasitesinin daha büyük olmasına sebebiyet vermektedir. Bazı olağandışı durumlarda dalgıç ve kamera için yeterli alan olmayabilir. Bunun üstesinden gelebilmek için ya balıkgözü olarak bilinen mercekler ya da sudan havaya veya havadan suya gibi iki ortamlı fotogrametrik yaklaşımlar uygulanmaktadır.

2.4.3. Renk Kaybı

Değişen derinlikler nedeniyle farklı dalga boylarının kaybolması su altı fotogrametrisinde karşılaşılan bir zorluktur. Su, ışığın farklı dalga boylarını farklı derecelerde emer (Şekil 2.11). En düşük enerjiye sahip en uzun dalga boyları önce emilir. İlk emilen kırmızı, ardından turuncu ve sarıdır. Renkler, renk tayfında görüldükleri sırayla su altında kaybolur. Su ayrıca ışık enerjisini emer ve optik ışınları dağıtarak bulanık görüntüler oluşturmaktadır (Raoult vd., 2016; Casella vd., 2017; Vlachos vd., 2019).

Su altı görüntülerinde aydınlatma ve renklerin yarattığı zorlukları azaltmanın birkaç yolu vardır. Ancak bir zorluğu düzeltmek çoğu zaman başka bir zorluk yaratabilir. Fotoğrafçı daha iyi görüntü, renk veya daha iyi görüntü kalitesi arasında bir karar vermek zorunda kalabilir. Daha iyi renk elde etmek için kameranın pozlama süresi artırılabilir, ancak bu, görüntünün kalitesinin düşmesine neden olur. Işık belirli dalga boylarını daha iyi yakalamak için görüntülere belirli filtreler eklenebilir. Kırmızılarını, turuncularını ve sarıların daha iyi yakalamak için bir filtre ve yapay aydınlatma gerektirecektir. Bu durumlar su altı fotogrametrik çalışanlarına engel olmuştur. Ancak son yıllarda gelişen SfM tabanlı yazılımlar sayesinde bu durumları nispeten daha az etkilemektedir (Bianco vd., 2015; Bryson vd., 2016; Nocerino vd., 2020).

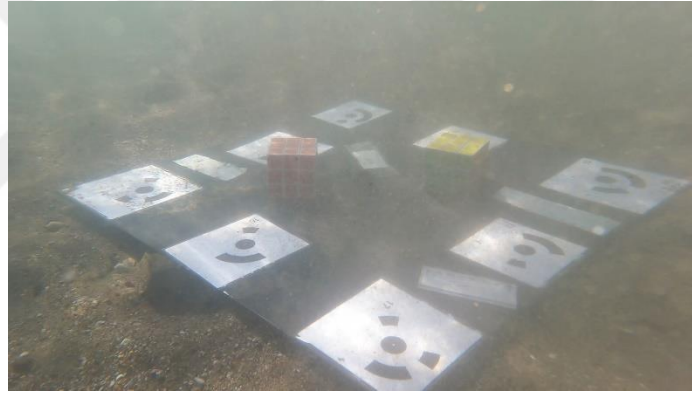


Şekil 2.11. Farklı dalga boylarında renk kayıpları.

2.4.4. Su Parçacıkları

Su kütleleri genellikle görüşü engelleyebilecek ve bir görüntüye müdahale edebilecek çeşitli yüzen parçacıklarla doludur (Şekil 2.12). Suda asılı kalan parçacıklar arasında çakıl, kum, silt, kil, alg, deniz yosunu ve diğerleri sayılabilir. Su altındaki askıda parçacıklar arazi çalışmasını etkilemektedir. Operatörler nesnelere yakınlığı (su kalitesine bağlı olarak) minimum 0,5 m, maksimum 3 m arasında olması uygundur. Ancak bu durum büyük ölçeklerde çalışmaya zorlaştırmaktadır. Görünüşte kısıtlayıcı olan bu yön, büyük miktarda stereo çift üretmek zorunda kalmayı gerektirir, ancak öte yandan yüksek doğruluk ve hassasiyet sunmasını sağlamaktadır (Maas, 2015; Cheng vd., 2020).

Suda asılı olan fitoplankton, organik maddeler, kirlilik gibi çeşitli parçacıklar suyun bulanmasına sebep olur ve ışık suda bu sebeplerden dolayısıyla saçılır. Saçılım veya dağınık yansıma, ışığın kendi doğrultusundan rastgele bir şekilde sapmasından dolayı ortaya çıkar. Saçılma; görünüş kalitesini sınırlandırır, kontrastı düşürür ve buğulu görüntülere sebebiyet verir (Menna vd., 2018; Nocerino vd. 2021).



Şekil 2.12. Su altı ortamında kumlardan oluşan bulanık görüntü.

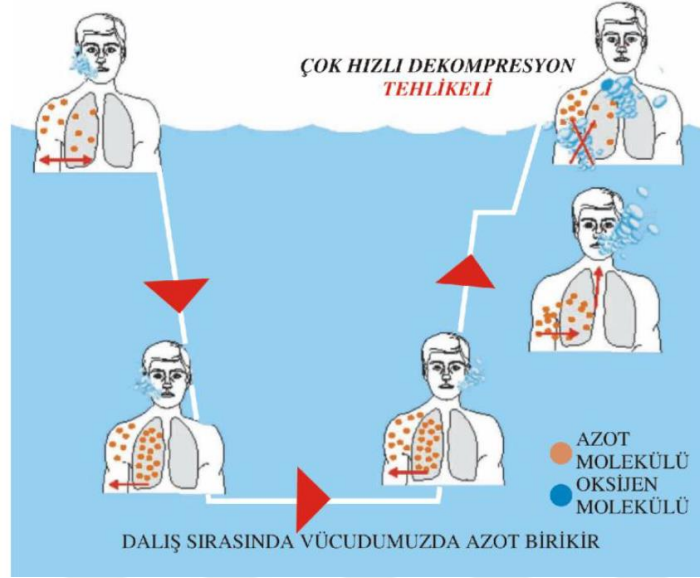
2.4.5. Sudaki Tuzluluk Oranı

Deniz suyu, havaya oranla 800 kat daha yoğundur. Tüm bu büyüklükler birbirine bağlı olarak değişmektedir: sıcaklık arttıkça yoğunluk da artar, basınç arttıkça tuzluluk oranı da artar, derinlikle doğru orantılı olarak her 10 metre derinlikte bir basınç 1 atm artar. Bu da 1.033 N/cm^2 'lik bir değişime tekabül eder. Bu durumda su altı fotogrametrik çalışmaları etkilemektedir (Kaya vd., 2019).

2.4.6. İnsan Sağlığı

Fotogrametri tekniğinin diğer tekniklerden ayıran bir diğer özelliği de insan sağlığını tehlikeye atmamasıdır. Fakat su altı fotogrametri çalışmalarında bu durum tam tersidir. Özellikle su altı fotogrametri çalışmalarını gerçekleştirecek operatörlerin profesyonel eğitim alması gerekmektedir. Her

ne kadar eğitim alınsa da insan fizyolojisi gereği bir dalgıcın derinliğe ve dalış süresine bağlı olarak vücuttaki azot birikmesinden dolayı günde ortalama üçten fazla dalış yapılmaması önerilmektedir (Şekil 2.13). Dolayısıyla dalgıçların su altında geçirdikleri süre kısıtlıdır. Bu yüzden insan sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek sürede ölçüm yapılması gerekmektedir (Kahraman vd., 2012; Kaya vd., 2019).



Şekil 2.13. Azot birikimi (Kahraman vd., 2012).

2.5. Kamera Kalibrasyonu

Bir kamera sisteminin kalibrasyonu, görüntü ölçümlerinin nesne alanı içindeki doğru konum ve boyut tahminleriyle sonuçlanmasını sağlamak için çok önemlidir. Su altı ortamında kalibrasyon, su geçirmez muhafazaların ve su ortamının kırılma etkilerinden etkilenmektedir. Su altı kamera sistemi kalibrasyonunun doğruluğu, güvenilirliği, geçerliliği ve kararlılığı son yıllarda tartışma konusu olmuştur (Urbina-Barreto vd., 2021; Ventura vd., 2021)

Su altı ortamında kullanılan kameralar genellikle havayla dolu bir su altı muhafazasına hapsedilir ve bu muhafaza cam parçalarından oluşmaktadır. Bu camın düz bir port olması durumunda, kamera muhafazasına giren ışık ışınlarından biri su-cam ara yüzünde diğeri cam-hava ara yüzünde olmak üzere iki kez kırılır. Çift kırılma, genellikle düz ışık ışınlarının bükülmesine ve ara yüz geliş açılarına bağlı olarak yön değiştirmesine neden olur (Anelli vd., 2019; Menna vd., 2019).

Li vd. (1997) tarafından, bir su altı muhafazasının kalibre edilebildiği kanıtlanmıştır. Lavest vd. (2000), su altında kalibre edilmiş bir kameranın odak uzaklığı ve radyal distorsiyon ile kırılmaya yaklaştığını göstermiştir. Treibitz vd. (2011) tarafından önerilen kalibrasyon yaklaşımında, ince muhafaza camı ile görüntüleme sensörü arasında paralellik içeren düz bir port ara yüzünü varsayarak yaptıkları çalışmada, perspektif kamera modelinin, ışınların ortak bir projeksiyon merkezinde kesişmemesi nedeniyle su altında bu kamera modelinin geçersiz olduğunu göstermiştir. Buna rağmen,

perspektif kamera modeli genellikle su altı görüntüleri için kullanılmakta ve kırılma etkisini bir dereceye kadar yaklaştırmaktadır. Perspektif modelin geçersiz olması nedeniyle, mozaikleme veya (SfM) gibi görüntüleme algoritmasını kullanan perspektif algoritmalarını su altı görüntülerine uygularken sistematik bir model hatası ortaya çıkarır. Yine de literatürde, perspektif kamera modelinin su altı ortamlarında 3B sahneleri yeniden yapılandırmak için kullanıldığı birkaç çalışma bulunabilir. Sedlazeck ve Koch (2012), odak uzaklığı ve radyal distorsiyona ek olarak ana nokta ve kamera pozunun bu model hatasının bir kısmını emdiğini göstermiştir.

Agrawal vd. (2012), kalın camlı daha genel bir kameranın ve cam ara yüzü ile görüntüleme sensörü arasında olası bir eğim açısının nasıl kalibre edilebileceğini göstermiştir. Jordt-Sedlazeck ve Koch (2012), Agrawal yöntemine dayalı doğrusal olmayan bir optimizasyon önermiştir. Bir su altı kamerasının geçerli bir kalibrasyonuna dayanarak, yani içsel özellikler ve bir muhafaza parametrisasyonu bilinmekte olup SfM yaklaşımıyla bu hata giderilebileceğini önermişlerdir.

2.5.1. Kırılma Ölçeği

Kırılma ölçeği ışığın boşluktaki hızı ile ışığın geçtiği ortamdaki hızın oranı olarak tanımlanır. Kırılma ölçeği ne kadar büyükse ışığın hızı o ortamda o kadar daha yavaştır. Eşitlik 2.1'de ortamın kırılma ölçeği ve Tablo 2.1'de farklı ortamların kırılma indisleri verilmiştir.

$$n=c/v \quad (2.1)$$

n = ortamın kırılma ölçeği
c = ışığın vakum ortamdaki hızı
v = ışığın ortamdaki hızı

Tablo 2.1. Ortamların indisleri.

Madde	n	Madde	n
Hava	1.0003	Su	1.33
Benzin	1.5	Polister	1.49
Pırlanta	2.42	Buz	1.31
Cam	1.66	Silikon	3.5
Gliserin	1.47	Kuartz	1.46

2.5.2. Snell Yasası

Çoğu su altı görüntüleme sisteminde, bir ışık ışını su, muhafaza (cam veya plastik) ve havada hareket eder. Işık ışınları hava ve su ara yüzlerinde iki kez kırılmaktadır (Treibitz vd., 2011). Kırılma ilkesi Snell yasasına göre Eşitlik 2.2’de verilmiştir:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2.)$$

Snell yasası bir ışık ışını için gelme açısının sinüsü ile kırılma açısının sinüsüne olan oranının sabit olduğunu ifade eder. Burada n_1 ışığın geldiği ortamın kırılma ölççeği ve n_2 ışığın kırıldığı ortamdaki kırılma ölççeğidir (Şekil 2.14). Ayrıca θ_i ve θ_t sırasıyla gelen ve kırılan ışının normal ile yaptığı açılardır (Treibitz vd., 2011; Telem ve Filin, 2013; Jordt-Sedlazeck ve Koch, 2012; Hamal ve Ulvi, 2020).

Snell yasasının türevleri Eşitlik 2.3’te verilmiştir.

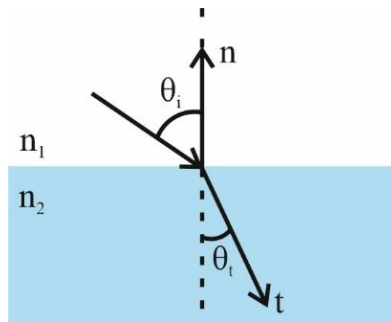
$$\sin^2\theta_t = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 * \sin^2\theta_i = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 * (1 - \cos^2\theta_i) \quad (2.3.)$$

Burada $\cos\theta_i$, i vektörü ve n vektörünün tamamlayıcı açısının kosinüsüdür ve bu vektörlerin iç çarpımıyla Eşitlik 2.4’de formüle edilmiştir (Treibitz vd., 2011; Telem ve Filin, 2013; Jordt-Sedlazeck ve Koch, 2012).

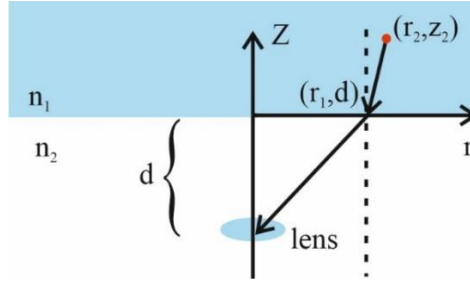
$$\cos\theta_i = -i \cdot n \quad (2.4.)$$

Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4’te formüller türetilerek, kırılan bir ışının yönünün nasıl hesaplanacağına Eşitlik 2.5’te verilmiştir (Treibitz vd., 2011; Telem ve Filin, 2013; Jordt-Sedlazeck ve Koch, 2012).

$$t = \frac{n_1}{n_2} * i + \left(\frac{n_1}{n_2} * \cos\theta_i - \sqrt{1 - \sin^2\theta_t}\right) * n \quad (2.5.)$$



Şekil 2.14. Snell yasasına göre ışığın yayılımı.



Şekil 2.15. Ortamdan gelen ışının, değişime uğrayarak kırılma düzlemiyle kesişmesi.

Şekil 2.15'te gösterildiği gibi, ortama gömülü 3B nokta düz ara yüzden geçer ve lensin merkezine doğru kırılır. Bu modelde kamera optik eksenini Z etrafındaki simetri özelliği nedeniyle, 3B koordinat (X_P, Y_P, Z_P) radyal gösterim formuna (r_P, Z_P) yeniden yazılabilir. Daha sonra optik yolun (L) aldığı zaman süresi Eşitlik 2.6'da verilmiştir. (d , kamera merkezinden kırılma ara yüzüne olan mesafeyi gösterir.) (Treibitz vd., 2011; Telem ve Filin, 2013; Jordt-Sedlazeck ve Koch, 2012).

$$L = n_2 * \sqrt{(r_2 - r_1)^2 + z_2^2} + n_1 * \sqrt{r_1^2 + d^2} \quad (2.6)$$

2.5.3. Havadaki Giriş Açıklığı

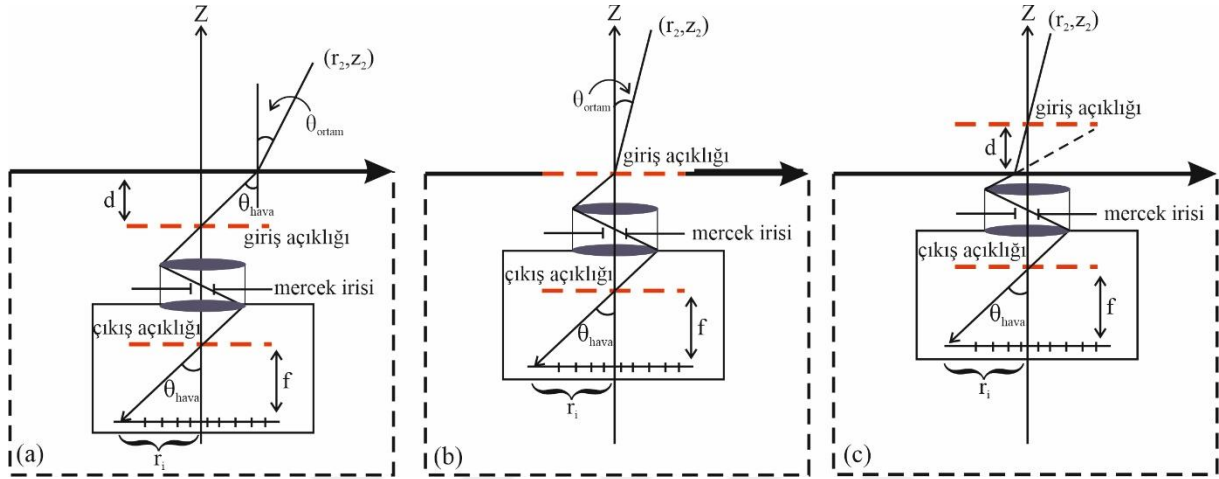
Işık ışınları bir nesneye sırasıyla ortam, ara yüz, hava ve perspektif kamera olmak üzere geçmektedir. Objektiflerde ışığın optik sisteme girdiği ön taraftan bakıldığında görülebilen fiziksel diyafram açıklığının görüntüsüdür. Aynı diyafram açıklığının objektifin arka kısmından görünümüne ise çıkış açıklığı adı verilir (Şekil 2.16-a). Optik tasarım dâhilinde fiziksel diyaframın önünde cam elemanlar bulunduğundan, giriş açıklığının çapı gerçekte olduğundan daha büyük veya küçük görünecektir. Söz konusu açıklığın çapı objektifin büyütme özelliğine ve optik tasarım dâhilindeki yerine bağlı olarak değişkendir. Giriş açıklığının yeri objektifin perspektif merkezidir. Diğer bir deyişle paralaks etkisinin sıfır olduğu noktadır. Bu açıdan bakıldığında panoramik fotoğrafçılıkta önem arz eder. Birden fazla karenin çekildiği ve nihai tek bir fotoğraf olarak birleştirildiği durumlarda fotoğraf makinası, üzerinde takılı objektifin giriş açıklığının bulunduğu nokta sabit tutularak yatay düzlemde döndürülür. Bu şekilde kullanım perspektif hatalarını elimine eder. Işın, ara yüzeyden havaya geçtikten sonra kamera merceğine girer. Bir perspektif lens için, ışına karşılık gelen görüntü pikselinin radyal koordinatı (r_1) iken f , kameranın havadaki odak uzaklığıdır. Eşitlik 2.7 ve Eşitlik 2.8 formülize edilmiştir.

$$r_g = dr_1 = fz \quad (2.7)$$

$$\left(r_2 - \frac{d}{f} * r_1\right)^2 * \left[\left(\frac{f_n}{r_1}\right)^2 + (n^2 - 1)\right] = z_2^2 \quad (2.8)$$

2.5.4. Camdaki Giriş Açıklığı

Şekil 2.16-b'de gösterilen, kameranın giriş açıklığı doğrudan ara yüzün üzerindedir (yani $d = 0$). Bu özel durum, sistemin bir bütün olarak bir (Single Viewpoint) SVP 'ye sahip olduğu tek durumdur. Bakış açısı giriş açıklığında (düz camda) korunur. Bununla birlikte, bu projeksiyon merkezinden geçen ışınlar, Şekil 2.16'da gösterildiği gibi kırılma nedeniyle yön değiştirir.



Şekil 2.16. Havadaki Giriş Açıklığı (a), Camdaki Giriş Açıklığı (b), Ortamın Giriş Açıklığı (c).

Kırılma indisi $n > 1$ olduğunda, açılar ortamdaki daha küçüktür. Dolayısıyla sistem (tek kamera yerine) daha uzun etkili odak uzaklığına sahipmiş gibi davranır (Eşitlik 2.9).

$$f_{ortam}^{etkin} = n * f \quad (2.9)$$

Dolayısıyla, kamera perspektif ise, tüm sistem perspektiftir (Eşitlik 2.10).

$$r_1^{persp} = r_2 * \frac{f_{ortam}^{etkin}}{z_2} \quad (2.10.)$$

Buna karşılık, kırılmanın yarattığı bozulma Eşitlik 2.8'de $d = 0$ yazılarak doğrudan r_1 ve r_2 arasındaki ilişki Eşitlik 2.11'de verilmiştir. Eşitlik 2.10 ve Eşitlik 2.11 kullanılarak distorsiyon düzeltme işlemi Eşitlik 2.12 bağıntısında verilmiştir.

$$r_1 = f_n * \left[\left(\frac{z_2}{r_{w2}} \right)^2 - (n^2 - 1) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.11.)$$

$$r_1^{\text{persp0}} = r_{\text{ortam}}^{\text{etkin}} * \left[n^2 - 1 + \left(\frac{r_{\text{ortam}}^{\text{etkin}}}{r_i} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.12.)$$

Eşitlik 2.12’de ortamın kırılma indisi n biliniyorsa, doğrusal olmayan radyal distorsiyonu doğrudan düzeltir. Bu, ampirik polinom kalibrasyonu ihtiyacını azaltır. Bu durum sadece $d = 0$ olduğu durumlar için geçerlidir.

2.5.5. Ortamın Giriş Açıklığı

Bazı durumlarda kameranın etkili projeksiyon merkezinin ortamın içinde olabileceğini anlamak önemlidir. Bu gibi durumlarda, lens ara yüze bitişikse, giriş açıklığı (dolayısıyla merkez veya projeksiyon) ortamda etkin bir şekilde konumlandırılır. Böyle bir durum Şekil 2.16-c’de tasvir edilmiştir. Bu durumda, Eşitlik 2.5 geçerlidir, ancak burada d negatiftir.

2.5.6. Işığın Zayıflaması

Su kütlesi yoluyla radyometrik sinyal kaybı, emilim ve saçılmaya neden olur. Bu etkiler, su özelliğine ve dalga boyuna bağlı bir modelde formüle edilebilir ve sinyal zayıflamasını mesafe ile ilişkilendirebilir (McGlamery, 1980; Jaffe, 1990). Basitleştirilmiş bir su altı optik modeli aşağıdaki Eşitlik 2.13’de verilmiştir ve bu model aynı zamanda görüntü iyileştirmede de yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$I(d, \lambda) = I_0(d) * e^{-\mu(\lambda)d} + B * (1 - e^{-\mu(\lambda)d}) \quad (2.13.)$$

I =kamera tarafından alınan parlaklık

d =sudaki seyahat mesafesi

I_0 =nesneden gelen orijinal ışınımlardır

B =Su altının arka plan parlaklığı

$\mu(\lambda)$ = farklı dalga boylarına göre zayıflama katsayısı

2.5.7. Görüntü İyileştirme

Görüntü alımı sırasında ve daha sonrasında ortaya çıkan olumsuzlukların düzeltilmesi için yapılan işlemlerdir. Görüntü iyileştirme metodolojisi iki bölümden oluşmaktadır: kırılma etkileri için geometri düzeltilmesi ve ışığın zayıflama etkileri için radyometri düzeltilmesidir (Sarakinou vd., 2016; Malinverni vd., 2020).

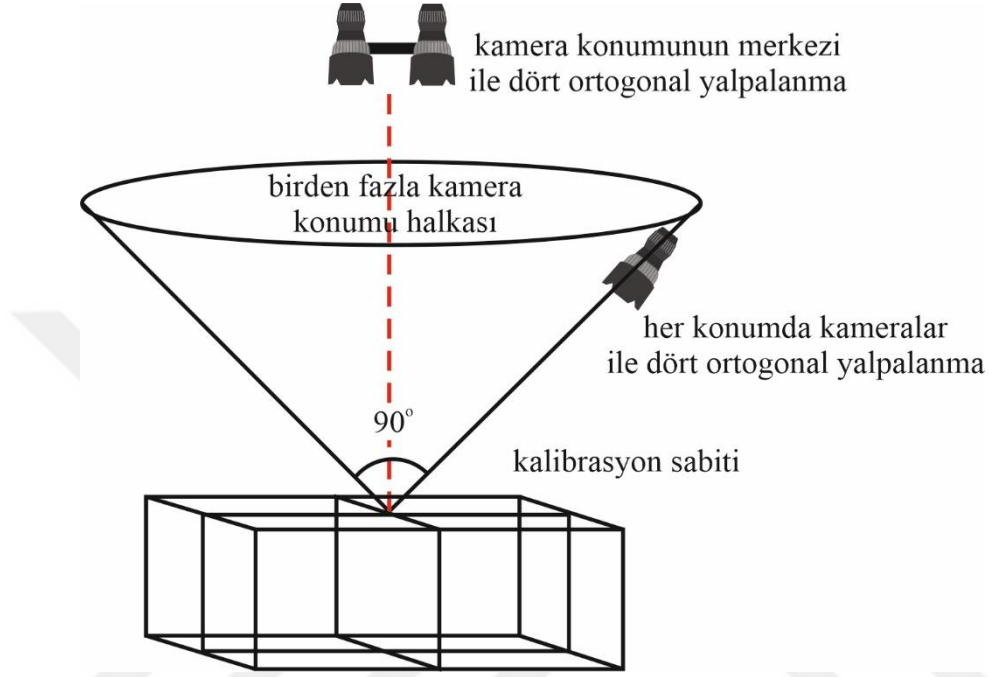
Geometrik düzeltme, yerkürenin yuvarlaklığı ve perspektifinden doğan bozukluklar ve su altında ışık kırılmasından oluşan distorsiyonları düzeltmek için yapılmaktadır. Geometrik düzeltme işlemi görüntü, bulunduğu koordinat sisteminden başka bir koordinat sistemine taşınır. Görüntünün geometrik düzeltme işlemleri için görüntü üzerine iyi dağılmış yer kontrol noktaları belirlenir. Bu noktalar harita koordinatları yardımıyla bir altlık üzerine işlenir. Dönüşüm eşitlikleri yardımıyla koordinatlar bilgisayarda hesaplanarak noktalar altlık üzerinde doğru yer koordinatlarına karşılık gelen yerlere yerleştirilirler (Boutros vd., 2015; Guo vd., 2016).

Radyometrik düzeltme ise Güneş'in yeryüzü üzerine düşen ışınlarının mevsimsel olarak değişimi, görüntü üzerinde istenen bilgilerle ilgili olan ve olmayan iki ayrı kategorinin ortaya çıkarılması (sinyal ve parazitlerin belirlenmesi) gibi işlemler için hatalar giderilir.

Kapsamlı bir kalibrasyonun alternatif yaklaşımı olarak da bilinen aynı zamanda güvenilir ve kabul edilmiş bir teknik olan kendi kendine kalibrasyon (self-calibration) tekniği Brown (1971) tarafından bulunmuştur.

Rebikoff (1972) kendi kendine kalibrasyon yöntemini su altı ortamına uyarlamıştır (Fryer ve Fraser 1986; Harvey ve Shortis 1998). Tekniğin matematiksel temeli Granshaw'da (1980) tarafından incelenmiştir. Bu yaklaşımın özü, kamera kalibrasyonunun fiziksel parametrelerini belirlemek için sabit bir kalibrasyon aralığının veya taşınabilir kalibrasyon armatürünün birden çok, yakınsak görüntüsünü yakalamaktır. Tipik bir kalibrasyon aralığı veya fikstürü, birçok fotoğraftan kamera görüş alanı boyunca ölçüm konumlarını kesin olarak belirlemek için ayrı hedeflere dayanır. Hedefler dairesel noktalar veya bir dama tahtasının köşeleri olabilir. Fikstür üzerindeki kodlanmış hedefler veya dama tahtası köşeleri, ölçümlerin ve ağ işleminin verimliliğini önemli ölçüde artırmak için görüntü analiz teknikleri (Shortis ve Seager 2014; Shortis 2015; Zhang 2000) kullanılarak otomatik olarak tanıtmışlardır. Ancak dezavantajı, kamera sisteminin menzile ve ardından tekrar yerleştirme konumuna taşınması gerektiğidir. Karşılaştırıldığında, taşınabilir bir kalibrasyon fikstürü üzerindeki hedeflerin konumları için doğru bilgiler gerekli değildir, çünkü hedeflerin koordinatları bir kendi kendini kalibrasyon yaklaşımının bir parçası olarak türetilir. Dolayısıyla, taşınabilir fikstür kalibrasyonlar arasında bozulursa ya da sökülürse, fikstür görüntü yakalama sırasında boyutsal bütünlüğünü korumalıdır. 3B ölçüm alanı içindeki ölçek, önceden tanımlanmış hedefler arasında ölçülen mesafelerin kendi kendini kalibrasyon ağına dahil edilmesiyle belirlenir. Hedefler arasındaki bilinen mesafeler güvenilir ve doğru olmalıdır, bu nedenle, fikstürün sert kolları üzerindeki hedefler arasında veya dama tahtasının köşeleri arasında bilinen uzunluklar belirtilir. Uygulamada, kameralar çoğunlukla bir kendi kendine kalibrasyon ağı ve konuşlandırmaya uygun bir yerde taşınabilir bir kalibrasyon fikstürü kullanılarak önceden kalibre edilir. Suyun kırılma indisi sıcaklığa, basınca veya tuzluluğa duyarlı değildir (Newton 1989), bu nedenle ön kalibrasyon için geçerli olan koşulların, ölçümleri yakalamak için sistemin fiili yerleştirilmesi için geçerli olduğu varsayılabilir. Odaklanma ve yakınlaştırma gibi kamera yapılandırmasının ve çok kameralı bir sistem için göreceli yönlendirmenin kilitlendiği ve rahatsız edilmediği varsayımı da yapılmıştır.

Pratikte bu, kamera lensi odak ve yakınlaştırma ayarlarının bir bant veya bir kilit vidası kullanılarak yerinde tutulması gerektiği ve birden fazla kamera arasındaki bağlantının, genellikle stereo kameralar arasında bir taban çubuğu olduğu anlamına gelir. Kalibrasyon ve dağıtım konumları arasındaki yakınlık, kamera sisteminde fiziksel bir değişiklik riskini en aza indirir (Sardemann vd., 2022; Zhao vd., 2022; Maas ve Luhmann, 2022).



Şekil 2.17. Kendi kendine kalibrasyon için ideal geometri.

Su altı kameralarının kendi kendini kalibre etme süreci basit ve hızlıdır. Kalibrasyon, bir yüzme havuzunda, teknedeki yerleşik bir tankta veya şartların izin verdiği durumlarda, teknenin yanında veya altında gerçekleştirilebilir. Kalibrasyon fikstürü yerinde tutulabilir ve kameralar etrafında manevra yapılabilir veya kalibrasyon fikstürü kameralar yerinde tutulurken manipüle edilebilir veya her iki yaklaşımın bir kombinasyonu kullanılabilir. Örneğin, küçük bir 2B dama tahtası, bir tankta tutulan bir Uzaktan Kumandalı Araç (Remotely Operated Underwater Vehicle/ROV) stereo kamera sisteminin önünde manipüle edilebilir. Büyük, çekili bir gövde sistemi, bir iskelenin yanında suya asılabilir ve stereo video kameraların önünde büyük bir 3B kalibrasyon fikstürü manipüle edilebilir. Dalgıç kontrollü stereo kamera sistemi durumunda, teknenin altına bir 3B kalibrasyon fikstürü bağlanabilir ve kameralar, Şekil 2.17'de gösterilen ağ geometrisini kopyalamak için fikstür etrafında hareket ettirilebilir. Kamera sistemlerinin yerinde kendi kendine kalibrasyonlarının çok az örneği vardır, çünkü bu tür bir yaklaşım dinamik ve kontrolsüz su altı ortamına hemen adapte edilmez. Bununla birlikte, tek bir kamera veya stereo kamera yerinde kendi kendine kalibrasyonun bazı örnekleri vardır (Abdo vd., 2006; Green vd., 2002). Çoğu durumda, bir olasılık olarak kamera sisteminin kalibrasyonunun bir tahminini belirlemek için yine de bir kalibrasyon öncesi veya sonrası gerçekleştirilir.

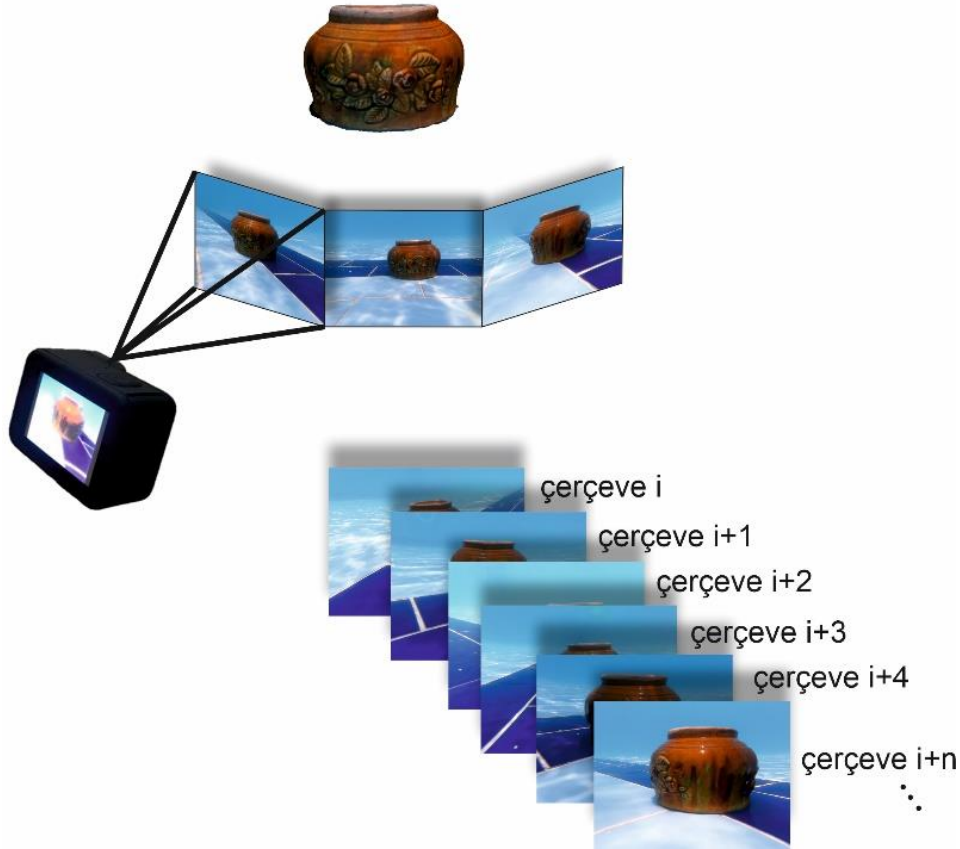
2.6. Video-Çerçeve Fotogrametrisi

Video-çerçeve fotogrametrisi, genel fotogrametrik yaklaşımda olduğu gibi tek çekimli görüntü serileri yerine video akışlarından çıkarılan kareler kullanılarak yapılmaktadır.

Video kaydı ile kameralar dikkatli bir şekilde konumlandırılması gerekmediğinden, fotoğraf çekimine göre çok daha geniş alanların videoları çekilebilir. Bu sayede daha geniş kapsama alanları ve daha iyi görüntü örtüşmesi sağlanır. Ayrıca bir saniyelik video görüntüsü 24 ile 30 hareketsiz görüntüden oluştuğundan, ardışık görüntülerin üst üste binmesi sağlanabilir. Bu nedenle, video çekimi ile dış yöneltme işleminde iyi sonuçlara sahip olma eğilimi göstermektedir.

Su altı video çekiminde hedef objenin etrafında farklı açılarda dönerek video çekim işlemi yapılmaktadır (Şekil 2.18). Video çekiminin fotoğraf çekimine göre avantajı su altı ortamının iç ve dış etkenlerine nispeten daha az etkilenmesidir.

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



Şekil 2.18. Su altı fotogrametrik yöntem ile kamera çekim konumları.

Bunların yanı sıra, görüntü çözünürlüğü daha düşüktür ve orijinal renk daha soluktur. Daha düşük görüntü çözünürlüğü, fotogerçekçi bir 3B doku işleminde genellikle düşük kaliteli dokulara neden olmaktadır. Bunun nedeni, çoğu yüksek tanımlı (High Definition/HD) çözünürlüklü video çekiminin kare başına yalnızca 1920 x 1080 piksele sahip olması ve (Digital Single Reflex Camera) DSLR kameralı (ACL-S sensörlü) bir fotoğrafın ise yaklaşık 6000 x 4000 piksel içermesidir. Başka bir deyişle, HD video kamera görüntülerinden yakalanan bir kare, DLSR kamera tarafından çekilen eşdeğer fotoğrafın piksel bilgisinin %10'undan daha azını içermektedir ve dezavantaj oluşturmaktadır. Orijinal rengin azlığı bir dezavantaj olarak görünse de yardımcı aydınlatma koşulları ile orijinal renklerini korunabilir. Fakat su altı ortamları suya nüfuz etmek için güçlü yardımcı aydınlatma kaynakları gerektirmektedir bu durum ise maliyeti arttırmaktadır. Orijinal rengi korumanın en etkili yolu olarak flaş patlamaları gösterilmektedir. Flaş etkisi fotoğraf çekiminde ortam aydınlatmasını optimum seviyede tutsa da video çekim tekniğinde bu durum kullanılamamaktadır. Bir video kameranın yardımcı aydınlatma sağlayabilecek flaş ışıkları olsa bile, sürekli spot aydınlatmadan elde edilen güç, orijinal renk alımı açısından yeterince güçlü olamamaktadır. Sonuç olarak, Video çekimi yoluyla geliştirilen fotogrametrik modeller mavimsi bir tona sahip olma eğilimindedir (Shortis vd., 2007; Piazza vd., 2019).

Yamafune (2016) yaptığı çalışmada video çekimlerinden hareketsiz karelerin çıkarılması yöntemi kullanarak bu tekniği test etmiştir. Daha geniş bir kapsama alanı ve iyi görüntü örtüşme sağladığı, zamandan tasarruf edildiği ancak renk kaybının önüne geçemediği, düşük kaliteli doku bilgisine sahip olduğu sonucuna varmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında temel donanım olarak kamera, kamera muhafazası, koordinatlandırma çerçevesi ile yardımcı araçlar ve fotogrametrik yazılımlar kullanılmıştır.

3.1. Kamera ve Muhafazası

Genel fotogrametrik çalışmalarda metrik kameraların kullanılması önerilmektedir. Metrik kameraların en önemli özelliği iç yöneltme elemanlar ve kamera distorsiyon hatalarının bilinmesi ve geometrik bakımdan merkezsel izdüşüme teorik olarak sadık olmalarıdır. Metrik kameraların temini ve kullanımı diğer fotoğraf kameralarına göre daha karmaşıktır. Bu yüzden gelişen sayısal fotogrametri ile birlikte metrik olmayan fotoğraf kameraların fotogrametrik çalışmalarda kullanımı araştırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Metrik olmayan kameraların fotogrametri çalışmalarında kullanılmasının faydalarından en önemlisi herkes tarafından kolay erişebilir kullanımı kolay olmasıdır. Su altı çalışmaları için özel tasarlanan kameralar diğer kameralara göre maliyet açısından dezavantaj olup profesyonellik gerektirmektedir. Bu yüzden çalışma kapsamında Şekil 3.1'de kullanılan aksiyon kameralar çoğu kişi tarafından kolayca temin edilebilir.

Test çalışmasında su altı fotoğraf ve video verilerinin toplanması için üç farklı aksiyon kamerası kullanılmıştır. Birden fazla aksiyon kamerasını kullanılmasının temel sebebi, su altı fotogrametrik çalışmalarda farklı çözünürlüğe sahip aksiyon kameraların hangisinin daha uygun olduğunu araştırmaktır.

Çalışmada üç farklı deney yapılmış olup her deneyde tüm aksiyon kameraları test edilmiştir. Su altının fotoğraf verilerinin toplanmasında; GoPro Black Hero9 (k1), SJCam SJ4000 (k2) ve Piranha 1125 (k3) aksiyon kameraları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kameraların teknik bilgileri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. k1-(a), k2-(b), k3-(c); kameraları ve muhafazaları.

Tablo 3.1. Aksiyon kameralarının teknik özellikleri.

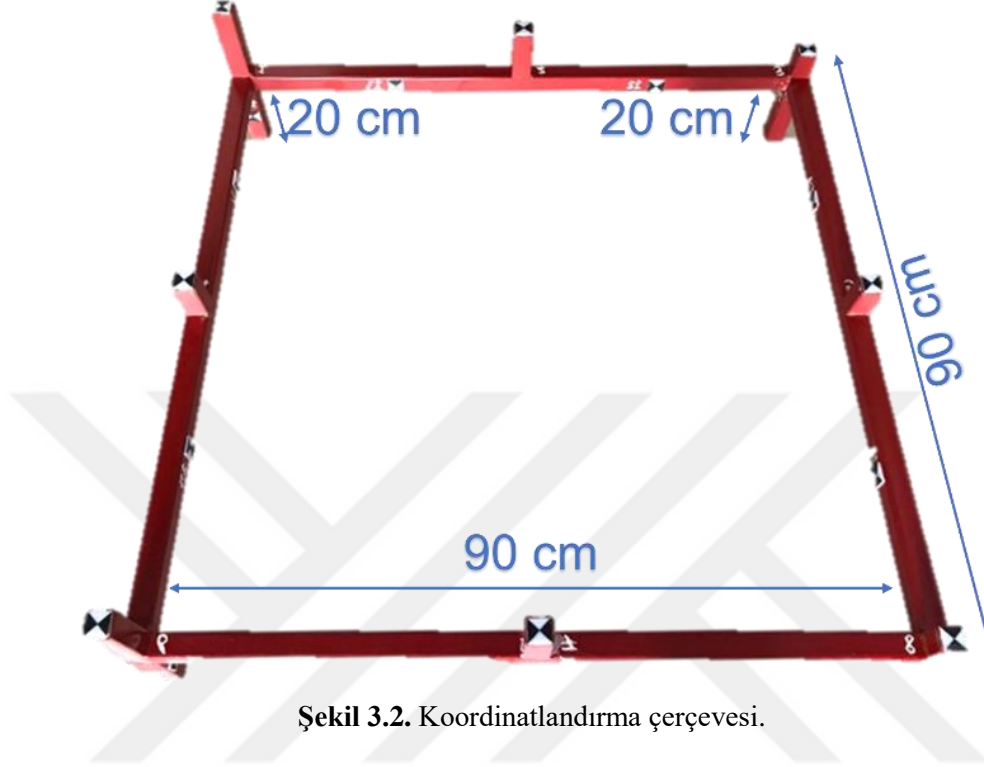
Teknik Özellikleri	k1	k2	k3
Sensör	CMOS	Belirtilmemiş	CMOS
Sensör Çözünürlüğü	23,6 MP	12 MP	5 MP
Hareketsiz Görüntü Desteği	JPEG/RAW- 20 MP	JPEG	JPEG
Ekran tipi	Sabit Dokunmatik Ekran LCD	Sabit Ekran LCD	-
Görüntü sabitleme	Sayısal	-	Belirtilmemiş
Beyaz Dengesi Modları	Oto	Oto	-
Batarya	Şarj Edilebilir Pil Paketi, 1720 mAh	Şarj Edilebilir Pil Paketi, 900 mAh	-
Fiyat	~500 ABD doları	~60 ABD doları	~25 ABD doları

*k1: Gopro hero black 9 - k2:sjcam 4000 - k3:piranha 1125

3.2. Koordinatlandırma Çerçevesi

Farklı veri toplama yöntem ve materyallerin kullanılması sonucunda ortaya çıkan sonuç ürünlerin karşılaştırmalı analizinin yapılabilmesi için sayısal çıktılarının aynı referans çerçevesinde olması gerekmektedir. Özellikle fotogrametrik çalışmalarda farklı donanımlardan elde edilen sayısal ürünlerden olan ve bu tez çalışmasında da temel sonuç ürün olarak kullanılan yoğun nokta bulutlarının analizi için ortak bir koordinat düzlemi belirlenmelidir. Farklı uzayda oluşturulan 3B nokta bulutları lokal koordinat sisteminde olup birbirlerinden farklı ölçekte oluşabilmektedir. Birbirinden bağımsız üretilen sayısal çıktılarının aynı referans çerçevesine ve aynı ölçeğe getirilmesi işlemine fotogrametride mutlak yöneltme denilmektedir. Bu işlem özellikle fotogrametrinin en çok uygulama alanı bulduğu hava fotogrametrisinde yer kontrol noktaları kullanılarak yapılırken yersel fotogrametri yönteminde hedef işaretleri yardımıyla yapılmaktadır. Ayrıca bu yer kontrol noktaları ve hedef işaretleri farklı fotoğraf çiftlerinin aynı düzleme iz düşürülmesinde yani karşılıklı yöneltme adımıyla bağlantı noktaları olarak da kullanılmaktadır. Çoğu durumda bu yer kontrol noktaları ve hedef işaretlerinin tesisi zaman ve maliyet açısından olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden optimum seviyede yer kontrol noktaları ve hedef işaretleri kullanılması uygundur. Ancak böyle bir durumda çalışma alanının karmaşıklığına ve büyüklüğüne bağlı olarak noktalar yetersiz gelebilmektedir. Sayısal fotogrametri ile birlikte fotogrametrik yazılımlarda kullanılan SfM algoritması ile model bağlama noktaları tam otomatik bir şekilde oluşturulabilmektedir. Fakat bunun oluşabilmesi için işlemin yapıldığı görüntüde karakteristik özellikleri bulunan detayların bulunması gerekmektedir. Birçok hava ortamında yapılan fotogrametrik çalışmalarda bu durum kolaylıkla aşılabilmekte iken su altı ortamına ait çekilen görüntülerde bağlantı noktalarının oluşması zordur. Bu nedenle su altı ortamındaki görüntülere de aynı hava ortamında kullanılan yer kontrol nokta ve hedef işaretleri gibi belirleyicilerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla tez çalışmasındaki su altında modellenen objenin koordinatlandırılması, ölçeklendirilmesi ve gerekli olduğu durumda bağlantı noktası olarak kullanılması için Şekil 3.2’de gösterilen koordinatlandırma çerçevesi tasarlanmıştır. Koordinatlandırma çerçevesi, yaklaşık olarak 90 x 90 cm en ve boy genişliğinde 20 cm

ayak uzunluğuna demir çubuklardan oluşmaktadır. Çubuğun ağırlığı yaklaşık 3 kg'dır. Alternatif siyah ve beyaz çarpılarla 30 mm genişliğinde kare hedeflerle işaretlenmiştir. Çerçeve üzerindeki tüm hedefler, çerçeveye sabitlenmiş bir referans sisteminde numaralandırılmış ve ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Koordinatlandırma çerçevesi.

3.3. Veri Toplama ve İşleme

Veri toplama aşaması üç bölüme ayrılmaktadır. İlk olarak şişme havuza obje yerleştirilerek fotoğraf ve videoları çekilmiştir (Havuz çalışması- Deney I). İkinci çalışmada durgun bir akarsuda (Akarsu çalışması- Deney II) ve son çalışmada ise deniz ortamında (Deniz çalışması- Deney III) fotoğraf ve video çekim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümün devamında her deney için dikkat edilen hususlar detaylı bir şekilde bundan sonraki başlıklarda ele alınmıştır.

Yukarıda bahsi geçen tüm deneylerde iki adet obje kullanılmıştır. Objelerden birinin düşey yapıda bir kompleks yapıya sahip olmasından dolayı diğeri ise yatay yapıda kompleks bir şekle sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Objelerin seçiminde suyun kaldırma kuvvetinden etkilenmemesi için ağırlıklar göz önüne alınmıştır. Ayrıca çalışmada tek düze renklerin etkisini irdelemek amacıyla kırmızı ve gri tonlara sahip objeler seçilmiştir.

Tez çalışmasında tüm deneyler için fotogrametrik yazılım olarak Agisoft Metashape (AG), Context Capture (CC) ve Reality Capture (RC) yazılımları kullanılmıştır.

Veri işleme aşamasında fotogrametrik yazılımlardan öncelikli olarak AG yazılımları kullanılmıştır. Bu yazılım ilk olarak 2010 yılının ortalarında hava fotoğrafçılığına dayalı bir haritalama yazılımı olarak piyasaya sürülmüştür. Ancak kısa süre sonra mimari, sinema endüstrisi ve yersel ve su altı arkeolojisi gibi diğer disiplinler tarafından benimsenmiştir. Belirli bir hedefin farklı açılardan alınan görüntüleri arasında ortak özelliklerini çeşitli algoritmalarla bulur ve haritalanan yapıların derinliklerini elde etmek için bu görüntüleri işlemektedir. (Van Damme, 2015; Drap vd., 2013).

AG yazılımında oluşturulan modelleri karşılaştırmak, doğruluklarını analiz etmek ve alternatif yazılımları su altı fotogrametrisinde kullanılabilirliğini test etmek amacıyla CC ve RC yazılımları kullanılmıştır. Kullanılan tüm yazılımlarında nokta bulutu üretilirken aynı referans sisteminde olunmasına dikkat edilmiştir. AG yazılımındaki üretilen nokta bulutu referans olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni su altı fotogrametrisi en yaygın kullanılan yazılım olmasıdır (Demesticha vd, 2014).

3.3.1. Havuz Çalışması (Deney I)

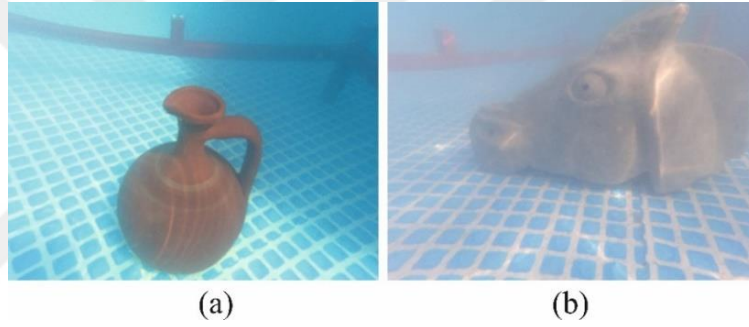
Birinci deneyde; düşük bütçeli, istenilen ortama yerleştirilebilen ve tekrarlanabilir olması nedeniyle 70 cm derinlikteki şişme bir havuz tercih edilmiştir. Ayrıca bu havuzun seçilmesinin diğer bir nedeni ise Şekil 3.3'te görüldüğü gibi düzenli bir desene sahip olmasıdır. Sade ve düzenli desene sahip bir alanda veri toplarken çekilen her görüntüde odak olarak hedef obje ve koordinatlandırma çerçevesi görülecektir. Buradaki amaç, koordinatlandırma çerçevesinin su altı ortamında ve sade yüzeyde fotogrametrik çalışmalarda etkili olup olmadığı ve çekilen fotoğraflarda hedef objenin uzaklıkları ve çekim konum noktalarının hesaplanmasına yardımcı olacak olan bağ noktaları oluşturup oluşturamayacağı irdelemektir.

Bu deneyde ilk olarak Şekil 3.3'te gösterilen objeler ile Şekil 3.2'de gösterilen koordinatlandırma çerçevesi şişme havuza yerleştirilmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılan üç adet kamera ile objelerin hem fotoğrafları hem de videoları çekilmiştir.

Çekim aşamasında bazı kısıtlamalarla karşılaşmıştır. Örneğin söz konusu deneydeki yükseklik ortalama bir insan boyunun bel hizasına gelmektedir. Bu yüzden her ne kadar su altı fotoğraf çekim deneyleri yapılıyor olsa da havuz gibi yapay ortamlarda 70 cm bir derinlikte operatörün dalma eylemi ile fotoğraf çekmesi olumsuz etmenleri oluşturacaktır. Özellikle bir operatörün böyle bir derinlikte hareket etmesi doğal olmayan dalgalanmaya sebebiyet verecektir. Ayrıca alanın dar olmasından dolayı hareket alanı kısıtlanacaktır ve operatörün hareketinden kaynaklı objenin konumunun değişmesi söz konusu olacaktır. Bu gibi kısıtlamaların önüne geçmek için wifi veya bluetooth gibi uzaktan erişime imkân tanıyan teknoloji ile donatılmış harici kamera çekim platformlarına ihtiyaç vardır. Fakat tez çalışmasında düşük bütçeli aksiyon kameraları test edildiği için kullanılan tüm kameralarda bu özellik bulunmamaktadır (wifi/bluetooth uzaktan erişim bağlantısına sadece k1 aksiyon kamerasında bulunmaktadır). Bu yüzden objenin fotoğraflarının çekimi için su ortamına herhangi bir temas olmaksızın çekim yapılamamıştır. Çekim için diğer bir alternatif olarak operatör vasıtasıyla manuel

çekimler yapılmıştır. Operatör tarafında fotoğraf ve video çekimleri yapılırken objeye herhangi bir temas olmamasına dikkat edilmiş olup dalgalanmanın en az seviyede olması için operatör suya girmeyerek uzatma kol yerine kendi kol uzvunu bu amaç için kullanmıştır.

Fotogrametrik çalışmalarda fotoğraf çekim aşamasında temel dikkat edilmesi gereken hususlardan biri bindirme (enine ve boyuna) oranlarıdır. Manuel çekim yapılmış olması sebebiyle bindirme oranı operatör tarafından tahmini olarak yapılmıştır. Model alanında boş yer kalmaması için yüksek bindirme oranları ortaya çıkmıştır. Bu durum çalışmada fazla fotoğraf verisi (k1, k2, k3;250, 262, 245) elde edilmesine yol açmıştır. Ayrıca, objeden ortalama aynı mesafede olacak şekilde göz kararı bir açı ile dairesel bir yörüngede oblik fotoğraflar çekilerek çekim konumları oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca güneş ışını su altı ortamında kırılmasından dolayı fotogrametrik çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. Özellikle güneş ışınlarının oluşturulduğu kostikler fotogrametrik süreçte olumsuz etkiye sahiptir. Bu sorunu en aza indirmek için güneş ışınlarının gelmediği bir ortama havuz tesis edilmiştir.



Şekil 3.3. Havuz çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).

3.3.2. Akarsu Çalışması (Deney II)

Deney alanlarının doğru bir karşılaştırmasını yapmak ve bütünlüğünü sağlamak amacıyla durgun akarsu ortamına objeler (Şekil 3.4) ve koordinatlandırma çerçevesi 70 cm derinliğe tesis edilmiştir. Bu deneyde koordinat çerçevesinin yanı sıra ağır demir plakaların üzerine işlenmiş renkli hedef işaretleri kullanılmıştır. Koordinat çerçevesinin kullanılmasının temel gereksinimi farklı uzay modellerini aynı koordinat düzlemine getirmektir. Fakat bu deneyde, Deney I'de kullanılan sade ve düzenli desene sahip bir su ortamının aksine farklı desen ve renkteki doğal su altı habitatına sahip durgun bir akarsu tercih edildiği için kısmen de olsa dalgalanmalar mevcut olmaktadır. Bu yüzden dalgalanmalardan koordinat çerçevesinin konumunun olası hareket etmesinden kaynaklanacak hatayı tespit etmek veyahut dalgalanmanın koordinat çerçevesini hareket ettirip ettirmediğini analiz etmek için ek olarak yukarıda bahsi geçen hedef işaretleri kullanılmıştır.

Aynı şekilde bütünlüğü korumak amacıyla fotoğraf çekimi operatör tarafından manuel bir şekilde çekilmiştir. Deney I'de alanın dar olmasından kaynaklı olarak deney ortamına operatör

girmeyerek çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bu deneyde ise operatör tamamen su ortamının içerisinde bulunmaktadır. Her ne kadar akarsu durgun olsa da doğası gereği hafif de olsa dalgalanmalar meydana geleceği için operatörden kaynaklanan ve oluşması tahmin edilen dalgalanma etkisi bu çalışma için göz ardı edilmiştir. Deney I'de olduğu gibi iki fotoğraf konumu arasındaki bindirme oranları operatör tarafından manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumda boş alanların kalmamasını sağlamak amacıyla olabildiğince yüksek bindirme oranlarına sahip oblik fotoğraflar çekilmiştir (k1, k2, k3;250, 245, 220). Deney I'de fiziksel ve çevresel bir etki olan güneş ışının kırılmasından kaynaklı olan kostik etkisini en aza indirmek için alınan önlemler bir önceki başlıkta anlatılmıştır. Bu deneyde ise yine aynı şekilde kostik etkisini en aza indirmek için fiziksel olarak güneşten kaçınılamayacağından dolayı etkinin en az olacağı tahmin edilen güneş ışınlarının dik geldiği saat aralığı (25 Ekim 2021/10.30-13.00) olan zaman diliminde fotoğrafların çekimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Akarsu çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).

3.3.3. Deniz Çalışması (Deney III)

Bu deneyde, Deney I ve Deney II'nin yapıldığı tatlı su ortamının aksine tuzlu bir su altı ortamında fotogrametrik çalışmayı test etmek amacıyla deniz habitatu tercih edilmiştir (Şekil 3.5). Ek olarak Deney I ve Deney II de kullanılan koordinatlandırma çerçevesi bu deneyde kullanılmamıştır. Bunun nedeni ise, hedef obje ile kamera arasındaki mesafe kısa tutulup yakın çekim yapmak zorunda kalınmıştır. Çünkü deniz ortamının kumlu ve berrak olmaması sonucu su bulanık bir hal almıştır. Bu nedenle koordinatlandırma çerçevesi yakın çekim yapmayı engellediğinden dolayı bu deneyde kullanılamamış ve bunun yerine hedef objeyi referanslandırmak için Deney II'de kullanılan kodlu hedef işaretleri kullanılmıştır. Kodlu hedeflerin ölçümü için ise elektronik uzunluk ölçer cihazı kullanılmıştır. Su altı ortamında kodlu hedef işaretlerinin elektronik uzunluk ölçer cihazıyla ölçümü doğrudan yapılamadığı için jalona entegreli reflektör yardımıyla yapılmıştır.

Bu deneyde de çalışmada kullanılan objeler diğer deneylerde olduğu gibi 70 cm derinliğe tesis edilmesinden dolayı çalışma sığ deniz ortamında gerçekleştirilmiştir. Ancak 70 cm derinlikteki deniz ortamında dalgalanma ve operatörün hareketinden dolayı çekilen fotoğrafların kumlu olması söz konusu olabileceğinden hedef objeler ve kodlu hedef işaretleri bir tahta parçası üzerine yerleştirilmiştir.

Deney II'nin temel amacı tuzlu deniz ortamının test edilmesinin yanı sıra dalgalanmaların da etkisinin araştırılması olduğu için sığ deniz ortamında özellikle dalgalanma daha fazla olacağı için tercih edilmesine katkı sağlamıştır. İkinci deneyde olduğu gibi bu deney de de operatör tamamen su ortamında bulunup bindirme oranları manuel olarak ayarlamıştır ve bindirme oranları diğer deneylerde olduğu gibi yüksek oranda aynı zamanda yakın çekim yapıldığı için fazla fotoğraf çekilmiştir (k1, k2, k3;352, 360, 340). Ayrıca, bu deneyde de diğer deneylerde olduğu gibi göz kararı bir açı ile dairesel bir yörüngede oblik fotoğraflar çekilmiştir. Son olarak da Deney II'de olduğu gibi bu deneyde de güneş ışıklarının dik geldiği saatler (10.30-13.00) tercih edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.5. Deniz Çalışmasında; birinci obje (a), ikinci obje (b).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm, veri toplama ve işleme süreci ile yazılımlardan elde edilen sayısal modellerin analizleri ve karşılaştırmalarını içermektedir.

Üç farklı deney ortamında k1, k2 ve k3 aksiyon kameralarından çekilen fotoğraf ve video verileri Agisoft Metashape (AG), Context Capture (CC) ve Reality Capture (RC) yazılımlarında ön inceleme yapıldıktan sonra fotogrametrik olarak işlenmiştir. Çekilen fotoğrafların incelenmesinde; suyun bulanıklığı, su parçacıkları ve operatörünün hareketinden kaynaklanan hatalara dikkat edilmiştir.

Sayısal fotogrametride ilk işlem adımı, farklı açı ve konumlardan çekilen fotoğrafların birbiriyle eşlenmesidir. Bu amaçla ön inceleme yapılan fotoğraflar her bir yazılıma aktarılmış ve fotoğraf hizalama işlemi yapılmıştır. Hizalama işlemi sonunda modellemek istenen ortamın ön görünümünü temsil eden seyrek bir nokta bulutu oluşmaktadır. Seyrek nokta bulutu yoğunluğu, sayısal fotogrametrik yazılımlarda nihai modelin oluşmasında temel iskeleti oluşturmaktadır. Bu yüzden çalışma yapılan obje/alana göre değişen fakat modeli tam anlamıyla temsil eden optimum yoğunlukta seyrek nokta bulutu oluşması gerekmektedir. Seyrek nokta bulutu yoğunluğunu belirleyen temel faktör, girdi olarak kullanılan fotoğraf sayılarının en fazla birbiriyle eşleme miktarları oluşturmaktadır. Bu yüzden fotoğrafları hizalama aşamasında fotoğrafların eşlenmesinde kullanılan bağlantı noktaları için herhangi bir sınır belirtilmemiştir.

Her yazılımın kendine özel parametreleri bulunmaktadır. Özellikle hizalama aşamasında kullanılan parametrelerdeki daha yüksek doğruluk ayarları, daha doğru kamera konumu tahminleri elde etmeye yardımcı olmaktadır. Kaba kamera konumlarını daha kısa sürede elde etmek için daha düşük doğruluk ayarları kullanılabilir. Yüksek doğruluk ayarında yazılımlar orijinal boyuttaki fotoğraflarla çalışırken, Orta ayar görüntünün 4 faktörü (her iki tarafta 2 kez) küçültülmesine neden olur. Düşük doğrulukta kaynak girdi fotoğrafların ölçeği 16 faktörü ile küçültülür ve en düşük değer 4 kat daha fazla küçültme anlamına gelmektedir. En yüksek doğruluk ayarı, görüntüyü 4 faktörü ile yükseltirken bağlantı noktası konumları, kaynak görüntülerde bulunan özellik noktaları temelinde tahmin edildiğinden bir bağlantı noktasını doğru bir şekilde lokalize etmek için bir kaynak fotoğrafı büyütme anlamlı olmaktadır. Bununla birlikte, en yüksek doğruluk ayarı yalnızca çok keskin görüntü verileri için ve ilgili işlemin oldukça zaman alıcı olması nedeniyle çoğunlukla araştırma amaçları için önerilir. Ayrıca en yüksek seçenek ile fotoğrafların bindirme oranı en düşük olan fotoğrafları da eşleştirirken, daha düşük seçeneklere doğru gidildikçe bindirme oranı yüksek olmayan fotoğraflar eşleştirilmez ve eşleştirilmeyen fotoğraflardan nokta üretilmez. Bu yüzden her üç yazılımda en yüksek doğruluk seçeneği seçilmiştir. Bu parametrelere dikkat edilerek her bir kamera için üç farklı yazılımda hizalama işlemi yapılmıştır.

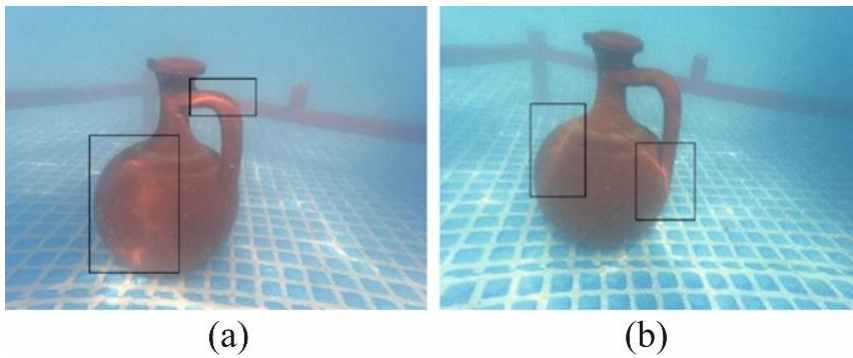
4.1. Havuz Çalışması (Deney I)

Deney I'de; k1, k2 ve k3 aksiyon kameralarından sırasıyla 250, 262, 245 adet çekilen fotoğraf verileri Agisoft Metashape (AG), Context Capture (CC) ve Reality Capture (RC) yazılımlarında işlemek üzere ön incelemesi yapılmıştır. Çekilen fotoğraflar incelendiğinde; suyun bulanıklığı, su parçacıkları ve operatörünün hareketinden kaynaklı net olmayan görüntüler ayıklanarak veri işlemede hariç tutulmuştur. k1, k2 ve k3 aksiyon kameralarından sırasıyla 26, 35, 245 adet fotoğrafın ön inceleme sonucunda kullanılmaya değer olmadığına kanaat getirilmiştir. Fakat k3 aksiyon kamerasının tamamının çıkarılması test çalışmamızı etkilememesi adına bu kamera özelinde herhangi bir fotoğraf çıkarımı olmamıştır.

İlk olarak AG yazılımında k1 aksiyon kamerası veri işleme sürecine geçilmiştir. Hizalama işlemi sonucunda Tablo 4.1'de görüldüğü üzere AG, RC ve CC yazılımları için sırasıyla 39, 8, 53 fotoğraf hizalanmış olup AG ve CC yazılımlarında yetersiz de olsa modelin iskeletinin oluşturacak olan seyrek nokta bulutları oluşmuştur. RC yazılımında seyrek nokta bulutu oluşmadığı için k1 aksiyon kamerasından elde edilen fotoğraf verileri sonraki aşamalarda değerlendirmeye alınmamıştır.

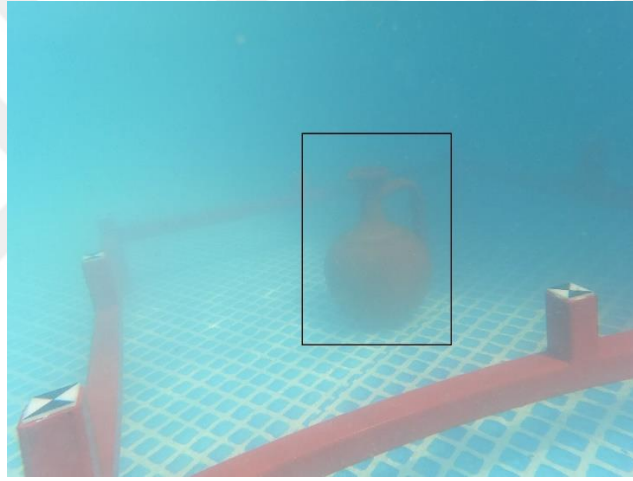
Fotogrametrik yazılımlar, hizalama işleminde; sıralı çekilen fotoğrafların hedef objeye uzaklıklarını ve çekim konum noktalarının hesaplanmasına yardımcı olan bağ noktalarını oluşturmaktadır. Ancak Deney I'de su altı ortamının sade ve düzenli yapıya sahip olması ile koordinatlandırma çerçevesinin de derinlik algılanmasında yetersiz kalması model oluşturulamamasına neden olmuştur. Aynı zamanda hizalanmayan fotoğraflar incelendiğinde ise güneş ışınlarının kırılmadan dolayı oluşturdukları yansımalar ve suyun bulanık olması modelleme çalışmasını olumsuz etkilemiştir.

Şekil 4.1 incelendiği sıralı olarak çekilen fotoğraflar verilmiştir. Ancak obje detaylı incelendiğinde kırılmadan dolayı oluşturulan yansımalar hizalamayı zorlaştırmıştır. Çünkü fotogrametrik değerlendirme yazılımları SfM algoritması ile çalışmaktadır. Çalışmada kullanılan fotoğraflarda yansımalar ayırt edilemediği için sıralı çekilmiş fotoğraflar SfM algoritması tarafından algılanamamış ve dolayısıyla nokta üretilenmemiştir.



Şekil 4.1. Güneş ışınlarının kırılmadan dolayı oluşturduğu yansımalar.

Şekil 4.2 incelendiğinde modellenmek istenen obje suyun bulanıklığından görülememektedir. Su altında fotoğraf çekimi yapılırken obje ile fotoğrafı çeken kişi arasındaki mesafe çok önemlidir. Su altı ortamında obje ile kamera arasındaki mesafede normalden ya çok yakın ya da çok uzakta gözükmemektedir. Şekil 4.2’de obje ile kamera arası ortalama 40 cm olmasına rağmen daha uzaktaymış gibi görünmüş ve kamera odak noktası hedef obje yerine yanlış konumlanmıştır. Bu durum derinlik algılanmasını olumsuz etkilemiştir. Buraya kadar bahsedilen bulgular fotogrametrik değerlendirme çalışması için ilk adım olan hizalama aşamasında; su bulanıklığı, su parçacıkları, güneşten kaynaklanan yansımalar ve kırılmalar, kostikli yapılar, derinlik algılanmasını engelleyen yanlış hedef-kamera konumlandırması, yetersiz bağ noktasına sebebiyet veren düzenli ve sade çevresel etmenler su altı çalışmalarında önemli yer edinmektedir. Bu olumsuzluklara rağmen gelişen fotogrametrik algoritmalar sayesinde yetersizde olsa oluşan seyrek nokta bulutları (AG ve CC) yazılımları için bir sonraki işlem adımlarına devam edilmiştir.

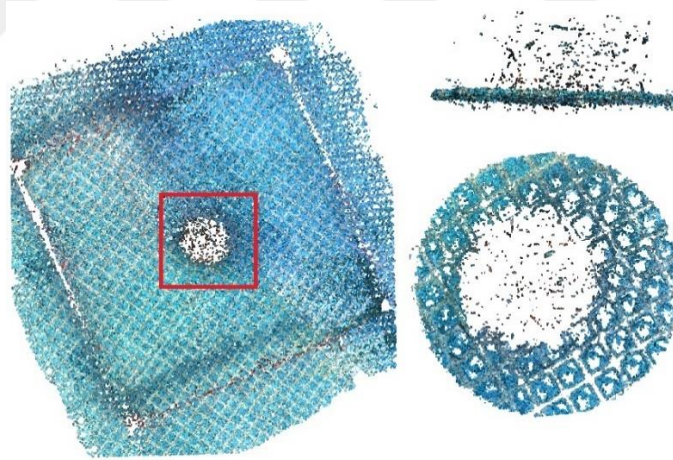


Şekil 4.2. Suyun Bulanıklığı.

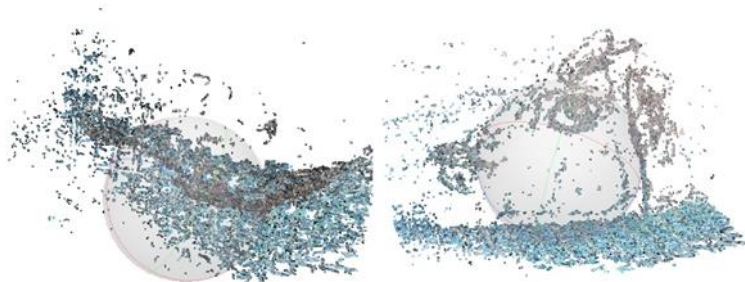
AG ve CC yazılımında bir sonraki işlem adımı olan yoğun nokta bulutu oluşturma aşamasına geçilmiştir. Tablo 4.1’de ki verilere göre özellikle k1 aksiyon kamerası için AG yazılımında üretilen yoğun nokta bulutu sayısı yeterli gibi görünse de hedef objeye ait nokta bulutu yoğunluğu çok az seviyededir. Bunun sebebi Şekil 4.3’te görüldüğü üzere oluşan yoğun nokta bulutlarının neredeyse tamamının 1.8 m² alanı kaplayan koordinatlandırma çerçevesinin sınırladığı alanda oluştuğu görülmektedir. Bir başka deyişle hedef objenin bulunduğu alanda yetersiz sayıda nokta bulutu oluşmuştur. Yoğun nokta bulutu oluşturma işleminden sonra derinlik haritası ve katı model üretim aşamasına geçilmiştir. Bu her iki sayısal ürünün kalitesini yoğun nokta bulutu oluşturmaktadır. Bu yüzden CC yazılımında yoğun nokta bulutu oluşsa da yazılımında derinlik haritası ve model üretilmemiştir. AG yazılımında ise yine aynı şekilde model üretilmemiş olsa da düşük doğrulukta derinlik haritası oluşmuştur. Model oluşturulamamasının temel sebebi olarak yoğun nokta bulutunda üretilen noktaların hedef objeye ait olmaması ve birbirinden ayrı olan noktalara yüzey geçirilememesi

gösterilebilir. Yani hedef objeye ait yoğun nokta bulutları kapalı bir yüzey geçirmek için gerekli olan üçgen ağları oluşmamıştır. Buraya kadar yapılan tüm işlem adımları ikinci obje için de denenmiş olup seyrek nokta bulutu sadece AG yazılımında üretilmiş olup tamamen düzensiz formdadır. Yoğun nokta bulutu ise AG yazılımında seyrek nokta bulutu gibi tamamen düzensizdir ve hiçbir anlam ifade etmemektedir (Şekil 4.4). Bu yüzden ikinci objeye ait herhangi bir araştırmaya konu olacak sonuç ürün üretilmemiştir.

Çalışmada deney I için her iki objeye ait fotoğraflar verilerinin yanı sıra video verileri de fotogrametrik olarak sürece dâhil edilmiştir. İlk olarak her iki objeye ait k1, k2, k3 kameralarından elde edilen video verileri AG, CC, RC yazılımlarına aktarılmış olup fotoğraf çerçevelerine dönüştürülmüştür. Deney I çalışmasında tüm kameralardan elde edilen video çerçeveleri her üç yazılımda da hizalanamamıştır. Bunun temel sebebi fotoğraf verilerinin fotoğraf verilerinin hizalanama sebepleri ile doğrusalık göstermesinin yanı sıra video kalitesinin fotoğraf kalitesine oranla çok daha düşük olması gösterilebilir. Bu durum su altı fotogrametrik çalışmalarda video verilerinin fotoğraf verilerine alternatif olması için öncelikle objenin ve ortamın ilk önce fotografik verilerle dengelenebilecek kalitede verilere ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Yani su altında fotogrametrik çalışmalarda ortamın pürüzsüzlüğünün yanında fotoğraf ve video verilerinin de hava ortamına göre çok daha iyi kalitede olması gerektiği bu çalışma ile desteklenmiştir.



Şekil 4.3. Deney I'ın birinci objesinin yoğun nokta bulutu görseli.



Şekil 4.4. Deney I'ın ikinci objesinin yoğun nokta bulutu görseli.

Deney I’de yapılan k2 ve k3 kamerasından elde edilen fotoğraf ve video verileri AG, RC ve CC yazılımlarında test edilmiştir. Ön inceleme sonucunda Tablo 4.1’de verildiği üzere k2 kamerası için bazı fotoğraf değerlemeye dâhil edilmemiştir. k3 aksiyon kamerası için ise tüm fotoğraflar bu tez kapsamında değerlendirmeye uygun görülmemiştir. Fakat test amacı ile k3 kamerasının tüm fotoğrafları uygun olmasa da çalışmaya dâhil edilmiştir.

k2 aksiyon kamerasından elde edilen veriler her üç yazılımda hizalama işlemine tabi tutulmuş olup AG yazılımında çok az sayıda seyrek nokta bulutu oluştururken RC ve CC yazılımlarında hem fotoğraf verileri hem de video verileri dengelenememiştir. AG yazılımında ise çok az sayıda seyrek nokta bulutu ile işleme devam edilmiş olup yoğun nokta bulutu oluşturulmak istense de elde edilen yoğun nokta bulutu hiçbir anlam ifade etmemektedir. Aynı şekilde k2 aksiyon kamerasına ait video verisi her üç yazılımda denenmiş olup dengeleme işlemi yapılamamıştır.

k3 aksiyon kamerasında ise test edilen tüm fotoğraf verileri ön incelemede araştırılmaya değer görülmemesini destekler nitelikte olup tüm yazılımlarda hizalama işlemi yapılamamıştır. Aynı şekilde video verileri de denenmiş olup herhangi bir olumlu sonuç alınamamıştır.

Tablo 4.1. Deney I’de veri işleme süreci.

	k1			k2			k3		
	AG	RC	CC	AG	RC	CC	AG	RC	CC
Toplam		250			262			245	
Hariç Tutulan		26			35			0	
Girdi Fotoğraf Sayısı		224			227			245 (Test amaçlı)	
Hizalanan Fotoğraf Sayısı	39	8	53	26	35	44	0	0	0
Seyrek Nokta Bulutu	958	0	257	139	0	0	0	0	0
Yoğun Nokta Bulutu	12457	0	652	982	0	0	0	0	0

4.2. Akarsu Çalışması (Deney II)

Deney II’de k1, k2 ve k3 kameralarından elde edilen fotoğraf ve video verilerine ilişkin fotogrametrik süreçler:

k1, k2 kamerası için; sırasıyla AG yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,

k1, k2 kamerası için; sırasıyla CC yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,

k1, k2 kamerası için; sırasıyla RC yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,

k3 kamerası için herhangi bir fotogrametrik sonuç ürün elde edilememiş olup buna ilişkin süreç, olmak üzere bu bölüm planlanmıştır.

4.2.1. Agisoft Metashape (AG) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç

k1 aksiyon kamerası ile edilen verilerin işlenmesi aşamasında ilk adım olarak Şekil 3.4'te gösterilen "a" objesi için modelleme çalışması yapılmıştır. Ancak objenin kullanılan tüm yazılımlarda hizalama işlemi yapıldığında fotoğrafların birbiriyle oluşturduğu bağlantı nokta sayısının çok az olduğu aynı zamanda çoğu fotoğrafların hizalama işlemine dâhil edilmediği görülmüştür. Sonuç olarak seyrek nokta bulutu sayısının yetersiz olması ve sonraki adımda oluşturulan yoğun nokta bulutunun modelleme için yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu sorun irdelendiğinde; birinci objenin fotoğraf ve video çekimi, güneş ışınlarının tam tepede olmadığı 10.30-12.00 saatlerinde gerçekleştirilmiş olmasından dolayı kostikler ve gölgeli yapıların oluşması fotogrametrik değerlendirmeye olumsuz etkisi olduğu kanıtlanmıştır (Şekil 4.5). Dolayısıyla birinci objenin modeli hiçbir yazılımında oluşturulamamıştır. Yani, her ne kadar durgun akarsu ortamında test çalışması yapılmış olsa da fotoğraf ve video çekimi sırasında operatörün hareketinden kaynaklı dalgalanmaların oluşması; su bulanıklığı, su parçacıkları, güneşten kaynaklanan yansımalar ve kırılmalar, kostikli yapılar, derinlik algılamasını engelleyen yanlış hedef-kamera konumlandırması yetersiz bağ noktasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 4.5. Güneş ışınlarının kırılmadan dolayı oluşturduğu yansımalar.

Deney II'de kullanılan ikinci obje öğlen 12.00-13.00 saatleri arasında yapılmıştır. Bu saat aralıklarında güneş tam tepede olmasından dolayı su altındaki kırılmalar obje yüzeyine diğer objeye oranla daha az kostik ve gölgeler oluşturmuştur. İlk olarak k1 aksiyon kamerasıyla elde edilen fotoğraf verisi AG yazılımında işlenmek üzere aktarılmıştır. Yazılıma eklenen fotoğraflara hizalama işlemi yapılarak; yazılım, fotoğrafların modellenecek olan objenin uzaklıklarını ve çekim konum noktalarının hesaplanmasına yardımcı olacak olan bağ noktaları ile seyrek nokta bulutu üretilmiştir. Hizalama sonucunda çekilen 250 fotoğraftan 200 fotoğraf hizalanmıştır. Kalan fotoğrafların hizalanamamasındaki ana sebep ise görüntülerdeki kostikli yapıların varlığıdır. Koordinatlandırma çerçevesi ve hedef işaretleri olmasına rağmen kostikli yapıların çokluğu bu kalan fotoğrafların hizalanmasını engellemiştir. Tablo 4.2'de gösterildiği üzere k1 fotoğraf verileri için AG yazılımında anlamlı oluşan seyrek nokta

bulutları ile yoğun nokta bulutu oluşturma aşamasına geçilmiştir. k1 aksiyon kamerasından elde edilen fotoğraf verilerinin düzgün olması hem seyrek nokta bulutunun anlamlı bir biçimde oluşmasına hem de daha düzgün bir yoğun nokta bulutu oluşmasına katkı sağlamıştır. Objenin yoğun nokta bulutu oluşturulduktan sonra 3B yüzeyler oluşturmak için mesh model üretilmiştir. 3B yüzeylere objenin fotoğrafları kaplanması için 3B model üretilmiştir (Şekil 4.6).

k1 aksiyon kamerası ile çekilen fotoğraflardan model oluşturulduktan sonra videodan kareler oluşturularak modelleme işlemi yapılmıştır. AG yazılımında ilk olarak video içe aktarılmış ve videodan fotoğraf kareleri oluşturma işlemi yapılmıştır. Bu modelleme çalışmasında 2,175 dakikalık videodan 275 adet kare fotoğraflar elde edilmiştir. 275 fotoğraf karesinden 245 adet fotoğraf hizalanmıştır. Hizalanamayan fotoğraflar aynı şekilde kostikli ve gölgeli yapılardan dolayı yazılım tarafından hizalanamamıştır. Ancak video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %9 oranında daha fazla hizalanmıştır. Su altı ortamındaki kostikli yapılar ve gölgeler hizalamayı büyük oranda etkilemektedir. Çekilen fotoğraflarda kostikli yapı yakalandığında telafisi bulunmaz. Ancak video verisinde bu kostikli yapılar bulunmasına rağmen aynı açıdan birden fazla fotoğraf karesi elde edilebileceğinden dolayı telafisi olabilmektedir. Aynı zamanda fotoğraf çeken dalgıç her ne kadar bindirme oranını yüksek tutmaya çalışsa da ani değişen hava koşullarından kaynaklı rüzgârın etkisiyle oluşan dalgalanmalar fotoğraf çekimini etkilemektedir. Fotoğraf kareleri oluşturulduktan sonra fotogrametrik süreçte uygulanan prosedürlerin aynısı uygulanmıştır. Oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

k1 aksiyon kamerası ile elde edilen fotoğraf ve videoların işlemi tamamlandıktan sonra k2 aksiyon kamerayla çekilen fotoğraf ve video görüntülerinin işlemine geçilmiştir. k1 aksiyon kamerası ile elde edilen verilerde yapılan tüm prosedürlerin aynısı k2 aksiyon kamerayla elde edilen verilerde de uygulanmıştır. Birinci objeden elde edilen fotoğraf ve video verileri incelendiğinde yansımadan dolayı kullanılamamıştır. İkinci objeden elde edilen veriler (k2-fotoğraf-video) AG yazılımında işlenmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 245 iken hizalanan fotoğraf sayısı 183 adettir. Çekilen video verisinden ise 2,245 dakikalık sürede 289 fotoğraf karesinden 231 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %5 oranında daha fazla hizalanmıştır. k1 aksiyon kamerasıyla elde edilen bulgularda olduğu gibi k2 aksiyon kamerasıyla elde edilen fotoğraf ve video verilerinin bazılarının hizalanamamasının sebebi kostikli ve gölgeli alanların varlığı etkili olmuştur. Hizalama sonrası oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.6).

4.2.2. Context Capture (CC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç

Deney II’de kullanılan birinci objenin (Şekil 3.4/a) tüm verileri (k1, k2, k3 aksiyon kamerası ile edilen fotoğraf ve videolar) CC yazılımında işlenmiştir. Ancak AG yazılımında çıkan sorunların aynı bu yazılımda da çıkmasından dolayısıyla modelleme yapılamamıştır.

Deney II’de kullanılan ikinci objenin (Şekil 3.4/b) verileri (k1-fotoğraf ve video), CC yazılımında içe aktarılmış ve hizalama işlemi yapılmıştır. k1 aksiyon kamerasında çekilen 250 fotoğraftan 220 tanesi hizalanırken; video verisinden 2.175 dakikalık sürede 275 fotoğraf karesinden 260 fotoğraf hizalanmıştır. Başka bir deyişle, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %7 oranında daha fazla hizalanmıştır. Bu oran bize k1 kamera verileri için CC yazılımında, AG yazılımında olduğu gibi video verilerinin hizalama oranının daha yüksek oranda olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca fotoğraf/video hizalama oranlarında AG/CC oranlaması %9/%7 olduğu tespit edilmiştir. Yani, AG yazılımındaki video hizalamanın fotoğraf hizalama oranı %9’luk değer alırken CC video hizalama oranının fotoğraf hizalama oranına %7’lik değer alması CC yazılımının fotoğraf ve video hizalama sayısının AG yazılımına göre daha fazla olduğunu kanıtlamaktadır. Bu sonuç, kostikli ve gölgeli alanlara sahip verilerde; CC yazılımının, AG yazılımına göre daha iyi bir performansta hizalama işlemi yapabildiğini göstermektedir. Bu değerler Tablo 4.2’de hem sayısal hem de oransal bir şekilde verilmiştir.

k1 aksiyon kamerası ile elde edilen fotoğraf ve videoların işlemi tamamlandıktan sonra k2 aksiyon kamerayla çekilen fotoğraf ve video görüntülerinin işlemine geçilmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 245 iken hizalanan fotoğraf sayısı 204 adettir. Çekilen video verisinden ise 2,245 dakikalık sürede 289 fotoğraf karesinden 251 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %4 oranında daha fazla hizalanmıştır. Bu sonuçlar ilk olarak k2 fotoğraf ve video verisinin CC yazılımı için k1 fotoğraf ve video verisine göre daha düşük performanslı olduğunu göstermektedir. Yani k2 fotoğraf verisinin %83’ü CC yazılımında hizalanırken k1 fotoğraf verisinin %88’i hizalanmaktadır. Aynı şekilde k2 video verisinin %87’si CC yazılımında hizalanırken k1 video verisinin %95’i hizalanmaktadır.







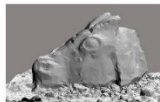

k2 aksiyon kamerası için AG yazılımında fotoğraf verilerinin %75’i, video verilerinin ise %80’i hizalanmıştır. Bu değerler CC yazılımında, fotoğraf verileri için %83 iken video verileri için %87’dir. Bu değerler k2 kamerasından elde edilen fotoğraf ve video verilerinin CC yazılımında AG yazılımına göre daha yüksek performans göstermektedir. Yani k2 aksiyon kamerasında çekilmiş olan kostikli ve gölgeli alanlara sahip verilerde de CC yazılımının, AG yazılımına göre daha yüksek performansta hizalama işlemi yapabildiği görülmektedir. Hizalama sonrası oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

4.2.3. Reality Capture (RC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç







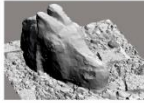

Deney II’de kullanılan ikinci objenin (Şekil 3.4/b) verisi (k1-fotoğraflar ve video) RC yazılımında içe aktarılmış ve hizalama işlemi yapılmıştır. K1 aksiyon kamerasında çekilen 250 fotoğraftan 203 tanesi hizalanırken video verisinden 2.175 dakikalık sürede 275 fotoğraf karesinden 253 fotoğraf hizalanmıştır. Başka bir deyişle, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %11 oranında daha fazla hizalanmıştır. Yani RC yazılımında da diğer yazılımlarda olduğu gibi video verileri daha yüksek performanslı hizalama sonucu vermiştir. Bu değerler AG ve CC yazılımında olduğu gibi k1 kamerası için video verilerinin fotoğraf verilerine oranla daha iyi hizalandığını göstermektedir. Fakat k1 kamerası için video/fotoğraf hizalama oranları irdelendiğinde AG yazılımı için %9, CC yazılımı için %7 değerleri elde edilmiştir. Bu değerler fotoğraf/video hizalama oranları arasındaki farkın sırasıyla düşükten büyüğe CC, AG, RC olduğunu göstermektedir. Bu değerlere göre her üç yazılımda da video verileri fotoğraf verilerine göre daha yüksek hizalama oranı verdiği kesinleşmiştir. Her üç yazılımda k1 video verileri hizalama oranları büyükten küçüğe CC, RC, AG yazılımları için %95, %92, %89’dur. Aynı şekilde fotoğraf hizalama verileri video hizalama verilerine göre düşük olsa da büyükten küçüğe CC, RC, AG yazılımları için %88, %81, %80 değerleri de CC yazılımının en iyi performans verdiğini kanıtlamaktadır.

Aynı şekilde RC yazılımında k2 aksiyon kamerasıyla çekilen fotoğraf ve video verilerinin işlenmesine geçilmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 245 iken hizalanan fotoğraf sayısı 201 adettir. Çekilen video verisinden ise 2.245 dakikalık sürede 289 fotoğraf karesinden 240 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %1 oranında daha iyi hizalanmıştır. k2 kamerasıyla elde edilen bu sonuçlar, k1 kamerasından elde edilen sonuçlara göre daha düşük performans sergilemiştir. Bu durum RC yazılımında k1 kamerasının k2 kamerasına göre daha iyi sonuçlar verdiğini diğer yazılımlarda olduğu gibi kanıtlamıştır.

Ayrıca bu değerler k2 verilerinin RC yazılımında da diğer yazılımlarda olduğu gibi video verilerinin fotoğraf verilerinden daha iyi hizalandığını göstermektedir. Bu sonuçlar ile k1 video verisinin k1 fotoğraf verisine göre tüm yazılımlarda daha iyi sonuç vermesine paralel olarak k2 video verisinin k2 fotoğraf verisine göre de tüm yazılımlarda daha iyi performans verdiğini kesinleşmiş olmaktadır. K2 video verileri hizalama oranları büyükten küçüğe CC, RC, AG yazılımları için sırasıyla %87, %83, %80 değer alması, k2 video verilerinde en iyi performansın CC yazılımında elde edildiğini göstermektedir. Hizalama sonrası oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model Şekil 4.7’de gösterilmiştir.







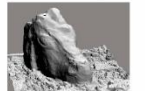

Deney II'nin ikinci objenin (k1-fotoğraf) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Context Capture	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Agisoft Metashape				
	Reality Capture				

(Fotoğraf)







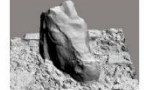

Deney II'nin ikinci objenin (k1-video) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Context Capture	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Agisoft Metashape				
	Reality Capture				

(Video)

Şekil 4.6. Deney II, ikinci objenin k1 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.

Deney II'nin ikinci objenin (k2-fotoğraf) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Context Capture	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Agisoft Metashape				
	Reality Capture				

(Fotoğraf)

Deney II'nin ikinci objenin (k2-video) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Context Capture	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Agisoft Metashape				
	Reality Capture				

(Video)

Şekil 4.7. Deney II, ikinci objenin k2 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.

Tablo 4.2. Deney II için tüm yazılımlarda k1 ve k2 kamera hizalama değerleri.

		k1				k2			
		Fotoğraf	Oran (%)	Video (137,5 sn)	Oran (%)	Fotoğraf	Oran (%)	Video (144,5 sn)	Oran (%)
AG	Kullanılan	250	80	275	89	245	75	289	80
	Hizalanan	200		245		183		231	
CC	Kullanılan	250	88	275	95	245	83	289	87
	Hizalanan	220		260		204		251	
RC	Kullanılan	250	81	275	92	245	82	289	83
	Hizalanan	203		253		201		240	

4.3. Deniz Çalışması (Deney III)

Deney III'ün, diğer deneylerden farkı; birinci (Şekil 3.5/a) ve ikinci (Şekil 3.5/b) seçilen obje için kamera çekim mesafesi kısa tutulmuş olup su altında kamera ile hedef obje arasındaki mesafenin önemi irdelenmek istenmiştir.

Işığın su içindeki hızı havadakinden $\frac{3}{4}$ oranında daha fazladır; dolayısıyla suyun içine bakan gözün yanılma oranı da $\frac{3}{4}$ 'tür. Dolayısıyla dalıcı, su altında 100 cm uzaklıktaki bir nesneyi, bu uzaklığın %25 daha yakın yani; $2 \times \frac{3}{4} = 75$ cm uzaklıktaymış gibi ve %33 daha büyük algılayacaktır. Yüzeyden bakıldığında sığ olduğu düşünülen bir dip mesafesi, tahmin edilenden daha derin olabilir. Işığın kırılması sonucu derinlik tahmini yapılması zorlaşır. Dışarıdan suya bakan gözün yanılmasının asıl nedeni ise su altında zıtlığın ve parlaklığın azalmasıdır. Diğer bir faktör ise hava ortamındaki ışığın hızı ile su ortamındaki ışığın hızları arasındaki farktır. Bundan dolayı birinci objenin modelleme çalışması yapılırken hedef obje ile kamera arası mesafe yaklaşık 30 cm olduğu için su ortamında bu mesafe 22.5 cm olarak görülmektedir. Bu nedenle çekilen görüntülerde hedef obje ile kamera arasındaki mesafe daha kısa mesafedeymiş gibi görüldüğü için ve bu görüntülerden objenin karakteristik yapısı nedeniyle derinlik algısı oluşmadığı için tüm yazılımlarda birinci obje (Şekil 3.5/a) için modelleme çalışması yapılamamıştır.

Deney III'ün ikinci objesinde k1 ve k2 aksiyon kamerasından elde edilen fotoğraf ve video verileri AG, CC ve RC yazılımlarında işlenmiştir. Diğer deneylerden farklı olarak kamera ile hedef obje arası mesafe kısa tutulduğu için oluşan modellerin zemine yakın yerlerindeki fotoğrafları/fotoğraf kareleri yazılımlar tarafından hizalama işlemine alınıp, hedef objenin üst bölümünde çekilen fotoğraflar/fotoğraf kareler yazılım tarafından hizalamaya dâhil edilmemiştir. Bu sorunun nedeni irdelendiğinde; kamera ile hedef objenin çekim mesafesi kısa olduğu için zemin bölümünde hedef işaretleri verilerde görüldüğü için hizalamada etkili olduğu ancak hedef objenin üst bölümünde ise her bir görüntüde sadece hedef objenin parçaları görüldüğü için yazılım hizalama işlemine dâhil edememiştir. Dolayısıyla hedef objenin tam ve eksiksiz modeli üretilmemiştir.

Deney III'te k1, k2 ve k3 kameralarından elde edilen fotoğraf ve video verilerine ilişkin fotogrametrik süreçler:

k1, k2 kamerası için; sırasıyla AG yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,
k1, k2 kamerası için; sırasıyla CC yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,
k1, k2 kamerası için; sırasıyla RC yazılımında fotoğraf ve video verilerine ilişkin süreç,
k3 kamerası için herhangi bir fotogrametrik sonuç ürün elde edilememiş olup buna ilişkin süreç,
olmak üzere bu bölüm planlanmıştır.

4.3.1. Agisoft Metashape (AG) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç

Deney III'ün ikinci objesinde (Şekil 3.5/b) elde edilen veriler (k1-fotoğraf-video) AG yazılımında işlenmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 352 iken hizalanan fotoğraf sayısı 260, çekilen video verisinden ise 3,10 dakikalık sürede 380 fotoğraf karesinden 292 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %3 oranında daha fazla hizalanmıştır. k1 aksiyon kamerasıyla elde edilen fotoğraf ve video verilerinden hizalanamayan görüntüler, Deney II'de olduğu gibi kostikli ve gölgeli alanların varlığından etkilenmişlerdir. Hizalama sonrası oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Deney III'de kullanılan ikinci objenin verisi (k2-fotoğraflar ve video) ise AG yazılımında içe aktarılmış ve hizalama işlemi yapılmıştır. K2 aksiyon kamerasında çekilen 360 fotoğraftan 250 tanesi hizalanırken, video verisinden 3,05 dakikalık sürede 370 fotoğraf karesinden 262 fotoğraf hizalanmıştır. Başka bir deyişle, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %2 oranında daha fazla hizalanmıştır. Bu değerler k2 aksiyon kamerasına ait video verilerinin fotoğraf verilerine oranla daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ayrıca k2 aksiyon kamerasına ait fotoğraf ve video verisi hizalama oranı ve sayısı olarak k1 aksiyon kamerasına göre daha düşük performans göstermiştir. Bu değerler durgun su ortamındaki değerlere göre AG yazılımı için deniz ortamına paralellik gösterdiği kanıtlar niteliktedir. Başka bir deyişle AG yazılımında gerek durgun su gerek deniz ortamında veri hizalamasında çözünürlüğün ve bindirme oranlarının önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

4.3.2. Context Capture (CC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç

Deney III'te kullanılan ikinci objenin (Şekil 3.5/b) verisi (k1-fotoğraflar ve video) CC yazılımında içe aktarılmış ve hizalama işlemi yapılmıştır. k1 aksiyon kamerasında çekilen 352 fotoğraftan 280 tanesi hizalanırken, video verisinden 3,10 dakikalık sürede 380 fotoğraf karesinden 319 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %4 oranında daha fazla hizalanmıştır.

Bu oranın bundan önceki değerlendirmelerde olduğu gibi video verisinin fotoğraf verisinden daha iyi hizalandığı görülmektedir. Aynı zamanda k1 için fotoğraf verileri %80 oranında hizalanırken iken AG yazılımı için %74 hizalanmıştır. Aynı zamanda CC yazılımında video verileri %84 oranında iken AG yazılımında bu oran %74'tür. Bu durum CC yazılımının k1 için hem fotoğraf hem de video verilerinde AG yazılımına göre daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür. Ayrıca kostikli ve gölgeli alanlara sahip verilerin CC yazılımında AG yazılımına göre daha iyi performansla hizalamayı yapabildiği bu değerler ile kanıtlanmıştır. Aynı zamanda k1 aksiyon kamerasıyla elde edilen verilerin işleme sürecinde olduğu gibi objenin zemin kısmı çekilen görüntüler hizalanırken üst kısmında çekilen görüntülerin bir kısmı hizalanamamıştır.

Deney III'te kullanılan ikinci objenin verisi (k2 fotoğraf ve video) CC yazılımında işlenmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 360 iken hizalanan fotoğraf sayısı 270 adettir. Çekilen video verisinden ise 3,05 dakikalık sürede 370 fotoğraf karesinden 292 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %4 oranında daha fazla hizalanmıştır. Tablo 4.3'te görüldüğü üzere ve durgun suda elde edilen sonuçlara ithafen video verileri fotoğraf verilerinden daha iyi hizalanmış olup CC ve AG yazılımları özelinde k2 aksiyon kamerasının tüm verileri k1 aksiyon kamerası verilerine göre her iki yazılımda da daha düşük performans sergilemiş ve CC yazılımı AG yazılımına göre daha yüksek performans göstermiştir. Hizalama sonrası oluşturulan seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, mesh model ve 3B model Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

4.3.3. Reality Capture (RC) Yazılımı ile Fotogrametrik Süreç

Deney III'te kullanılan birinci objenin (şekil 3.5/a) tüm verileri (k1, k2, k3 aksiyon kamerası ile edilen fotoğraf ve videolar) son kullanılan yazılım olan RC yazılımında işlenmiştir. Ancak AG ve CC yazılımlarında çıkan sorunların aynısı bu yazılımda da çıkmasından dolayısıyla modelleme yapılamamıştır.

Deney III'te kullanılan ikinci objenin (Şekil 3.5/b) verisi (k1-fotoğraflar ve video) RC yazılımında içe aktarılmış ve hizalama işlemi yapılmıştır. K1 aksiyon kamerasında çekilen 352 fotoğraftan 248 tanesi hizalanırken, video verisinden 3,10 dakikalık sürede 380 fotoğraf karesinden 248 fotoğraf hizalanmıştır. Başka bir deyişle, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %3 oranında daha fazla hizalanmıştır. Bu oranın video verilerinden elde edilen fotoğraf karelerinin daha iyi hizalandığı anlamına gelmektedir.

K1 aksiyon kamerası ile elde edilen fotoğraf ve videoların işlemi tamamlandıktan sonra k2 aksiyon kamerayla çekilen fotoğraf ve video görüntülerinin işlemine geçilmiştir. Bu modelleme çalışmasında çekilen fotoğraf sayısı 360 iken hizalanan fotoğraf sayısı 238 adettir. Çekilen video verisinden ise 3,05 dakikalık sürede 370 fotoğraf karesinden 252 fotoğraf hizalanmıştır. Yani, video verisinden elde edilen fotoğraf kareleri, fotoğraf verisine göre %2 oranında daha fazla hizalanmıştır.

RC yazılımında işlenen süreç sonunda genel değerlendirme yapılacak olunursa:

- k1 ve k2 kameralarından elde edilen video verileri tüm yazılımlarda fotoğraf verilerine göre daha iyi performans göstermiştir.
- k1 fotoğraf verisi en iyi yüksek orandan düşük orana göre CC, AG, RC yazılımlarında sırasıyla; %80, %74, %70 oranları elde edilmiştir.
- k1 video verisi en iyi yüksek orandan düşük orana göre CC, AG, RC yazılımlarında sırasıyla; %84, %77, %73 oranları elde edilmiştir.
- k2 fotoğraf verisi en iyi yüksek orandan düşük orana göre CC, AG, RC yazılımlarında sırasıyla; %75, %69, %66 oranları elde edilmiştir.
- k2 video verisi en iyi yüksek orandan düşük orana göre CC, AG, RC yazılımlarında sırasıyla; %79, %71, %68 oranları elde edilmiştir.

Bu değerler incelendiğinde; deniz ortamında en iyi performans CC yazılımı ile sağlanırken en düşük performans RC yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Deney III sonucunda k1 ve k2 kamerasından ikinci obje için elde edilen sayısal ürünler sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Ayrıca Deney III’e ait hizalama değerleri k1 ve k2 kameraları için detaylı olarak Tablo 4.3’te verilmiştir.



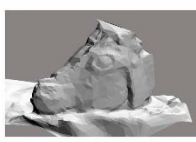

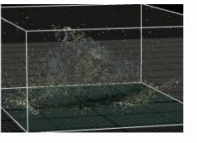


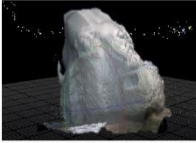
Deney III’de ikinci objenin (k1-fotoğraf) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Seyrek Nokta Bulutu				Yoğun Nokta Bulutu				Mesh Model				3B Model			
	Agisoft Metashape					Context Capture					Reality Capture					
	Reality Capture					Context Capture					Agisoft Metashape					
	Context Capture					Agisoft Metashape					Reality Capture					

(Fotoğraf)


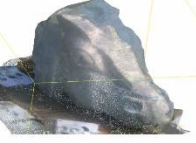


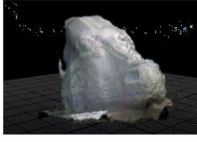


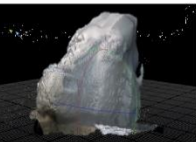
Deney III’de ikinci objenin (k1-video) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Seyrek Nokta Bulutu				Yoğun Nokta Bulutu				Mesh Model				3B Model			
	Agisoft Metashape					Context Capture					Reality Capture					
	Reality Capture					Context Capture					Agisoft Metashape					
	Context Capture					Agisoft Metashape					Reality Capture					

(Video)

Şekil 4.8. Deney III, ikinci objenin k1 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.

Deney III'de ikinci objenin (k2-fotoğraf) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Agisoft Metashape	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Context Capture				
	Reality Capture				

(Fotoğraf)

Deney III'de ikinci objenin (k2-video) modelleme çalışmasında yazılımlardan elde edilen çıktı ürünleri	Agisoft Metashape	Seyrek Nokta Bulutu	Yoğun Nokta Bulutu	Mesh Model	3B Model
	Context Capture				
	Reality Capture				

(Video)

Şekil 4.9. Deney III, ikinci objenin k2 ile elde edilen verilerin çıktı ürünleri.

Tablo 4.3. Deney II için tüm yazılımlarda k1 ve k2 kamera hizalama değerleri

		k1				k2			
		Fotoğraf	Oran (%)	Video (3.10 sn)	Oran (%)	Fotoğraf	Oran (%)	Video (3.05 sn)	Oran (%)
AG	Kullanılan	352	74	380	77	360	69	370	71
	Hizalanan	260		291		250		262	
CC	Kullanılan	352	80	380	84	360	75	370	79
	Hizalanan	280		319		270		292	
RC	Kullanılan	352	70	380	73	360	66	370	68
	Hizalanan	248		277		238		252	

4.4. Genel Prosedür Sonuçları

Her bir çalışmadan elde edilen modellerin Genel Prosedür sonuçları irdelenmiştir. Genel prosedür sonuçları:

- Veri toplama süreci
- Veri işleme süreci olarak ele alınmıştır.

Deney I'de modelleme yapılamadığı için herhangi karşılaştırma yapılamamıştır. Deney II'nin veri toplama süreci bir saate yakın sürmüştür. Sığ akarsuda veri toplama yapıldığı için rüzgârın etkisiyle akıntılardan dolayı denge problemi yaşanmıştır. Yaşanan denge problemi fotoğraf ve video çekimi sırasında tekrarlı yapılmasına neden olduğu için zaman alıcı olmuştur. Deney III'te ise sığ denizde yine Deney II'deki gibi rüzgârdan kaynaklı olmayarak denizin kendi doğal akıntılardan dolayı zorluklar yaşanmıştır. Bu nedenle çalışma yaklaşık iki saat sürmüştür.

3B modelleme çalışmasında zamansal olarak karşılaştırılması açısından aynı özelliklere sahip iki bilgisayardan aynı anda süreç başlatılmıştır (Dual Intel Xeon Silver 4214 işlemci / 64gb ram / quadro p4000 ekran kartı). İki bilgisayarın birinde fotoğraf görüntüleri diğerinde video görüntüleri işlenmiştir. Bu süreç kullanılan her yazılım için tekrarlanmıştır. Süreci aynı anda başlatmak için ilk olarak video verisinden fotoğraf kareleri oluşturulmuştur. Oluşturulan fotoğraf karelerinin bazılarında hareketten kaynaklı bozulmalar olduğu için fotogrametrik süreçte bu fotoğraf kareleri hariç tutulmuştur. Ön hazırlık işlemlerinin ardından aynı anda her iki yöntemden toplanan verilerle süreç başlatılmıştır.

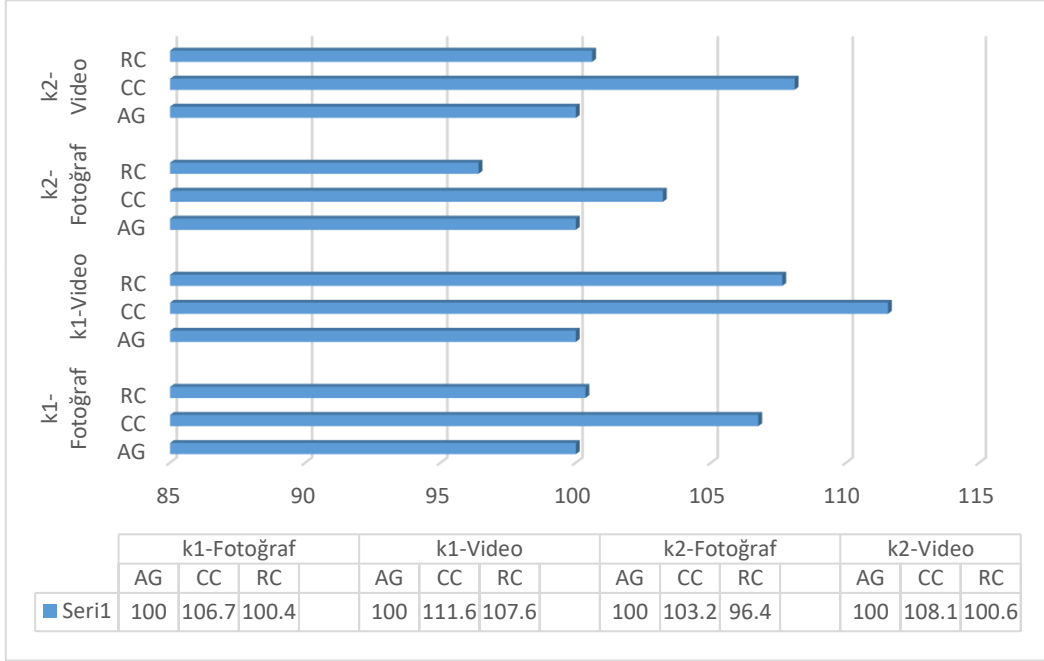
Veri işleme sürecinde birinci objenin modeli oluşturulamadığı için süreç kaydedilmemiştir. İkinci objede ise veri işleme süreci Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo incelendiğinde, yazılım ve kamera modeli fark etmeksizin video verileriyle işlem süreci hem fotoğraf kareleri seçiminde hem de fotoğraf verisine göre daha fazla veri elde ettiği için; fotoğraflar verileriyle işlem sürecinden daha fazla uzun sürmüştür. Yazılımlar arası işlem sürelerine bakıldığında ise anlamlı bir fark görülmemiştir.

Deney III'te birinci objenin modeli oluşturulamadığı için süreç kaydedilmemiştir. İkinci objede ise Deney II'nin ikinci objesiyle benzerlik göstermektedir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi su altı ortamındaki modelde video verilerinin işleme süreci daha uzun olmuş ve yazılımlar arası süreçte büyük oranda farklar görülmemiştir. Ayrıca hedef obje ile kamerayı kullanan dalgıç arasında mesafe diğer deneylere göre daha yakın çekimde gerçekleştiği için fotoğraf sayısı artmıştır. Diğer deneylerden farklı olarak Deney III'ün ikinci objenin veri işleme süreci daha uzun sürmüştür.

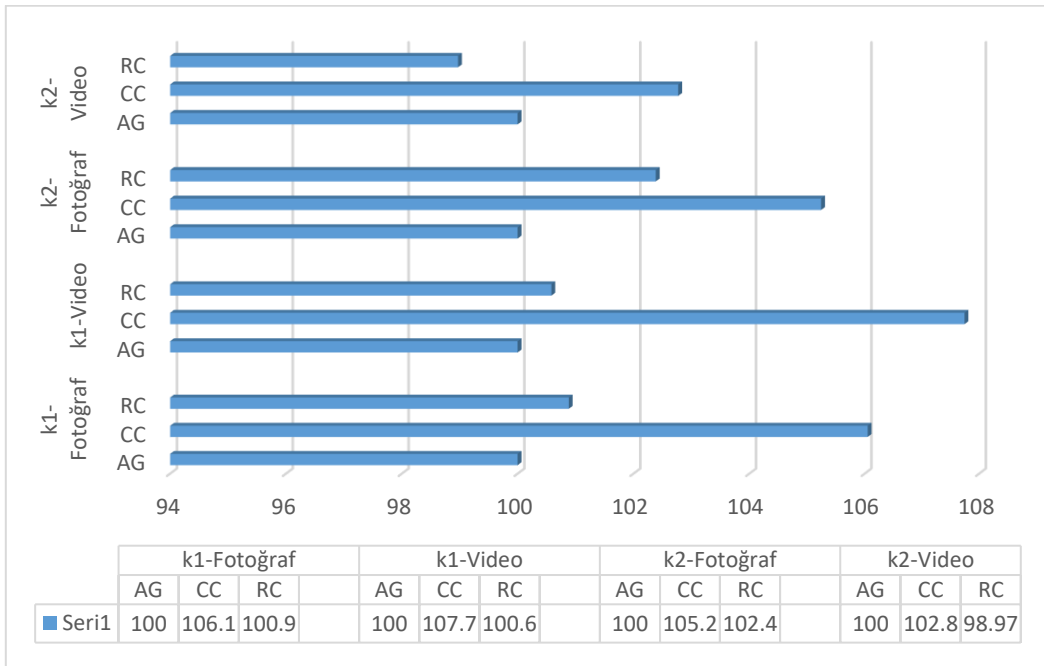
İkinci adımda üretilen modellerin yoğun nokta bulutu oranları irdelenmiştir. Literatürde en yaygın kullanılan yazılım AG yazılımı olduğu için bu yazılımda üretilen yoğun nokta bulutları referans alınmıştır. Deney I'de yoğun nokta bulutu üretilemediği için dahil edilmemiştir. Deney II'de, birinci obje aynı nedenlerle dahil edilmemiştir. İkinci objede ise Tablo 4.4 incelendiğinde CC ve RC yazılımlarında daha fazla nokta bulutu ürettiği görülmüştür. Daha anlaşılır bir biçimde, Şekil 4.10

incelendiğinde yüzde olarak AG yazılımına 100 değeri verildiğinde RC yazılımında üretilen nokta bulutu verisiyle benzerlik gösterdiği ancak CC yazılımında üretilen verilerin yoğun nokta bulutu sayısının her iki yazılıma göre daha yüksek değer aldığı görülmüştür.

Deney III'te ise birinci objenin modeli üretilmemiştir. İkinci obje için Şekil 4.11'de yoğun nokta bulutu yüzdeleri verilmiştir. Deney II'de olduğu gibi RC yazılımı AG yazılımı ile benzerlik göstermiş ancak CC yazılımı daha yüksek yüzde değeri almıştır.



Şekil 4.10. Deney II'nin ikinci obje yoğun nokta bulutu yüzdeleri.



Şekil 4.11. Deney III'ün ikinci obje yoğun nokta bulutu yüzdeleri.

Tablo 4.4. Deney II’deki ikinci objenin genel prosedür sonuçları.

	Veri İşleme/Yazılımlar	Seyrek nokta bulutu		Yoğun nokta bulutu		Mesh model		3B Model		Toplam süre (dk)	
		Nokta sayısı	Süre (dk)	Nokta sayısı	Süre (dk)	Yüzey/vertices	Süre (dk)	Texture size	Süre (dk)		
Deney II, ikinci obje	k1-Fotoğraf (250 fotoğraf)	AG	124,402	4.12	3,808,107	6.15	711,454/408,577	3.36	4096	11.38	25.01
		CC	151,546	4.37	4,064,979	6.48	800,247/404,784	3.15		11.31	25.31
		RC	150,602	4.49	3,821,563	6.55	800,233/399,888	3.28		11.22	25.54
	k1-Video (2,175 dk)	AG	263,156	7.13	6,552,149	9.11	809,486/408,577	4.52		134.4	34.16
		CC	269,555	7.07	7,310,341	9.07	834,478/407,579	4.34		13.5	33.98
		RC	266,390	6.54	7,052,149	9.54	820,789/410,595	4.11		13.38	33.57
	k2-Fotoğraf (245 fotoğraf)	AG	100,776	4.51	3,003,539	6.21	709,482/357,293	3.53		11.2	25.45
		CC	102,853	4.48	3,100,246	6.02	710,789/367,785	3.23		11.38	25.11
		RC	101,885	4.34	2,988,695	5.58	720,128/380,512	3.47		11.4	24.79
	k2-Video (2,245 dk)	AG	140,265	7.56	6,852,149	9.22	730,654/410,555	4.55		14.55	35.88
		CC	146,320	7.32	7,406,359	9.16	734,789/417,716	4.51		14.33	35.32
		RC	145,247	7.43	6,893,353	8.57	740,854/422,254	4.42		14.21	34.63

Tablo 4.5. Deney III’teki ikinci objenin genel prosedür sonuçları.

	Veri İşleme/Yazılımlar	Seyrek nokta bulutu		Yoğun nokta bulutu		Mesh model		3B Model		Toplam süre (dk)	
		Nokta sayısı	Süre (dk)	Nokta sayısı	Süre (dk)	Yüzey/vertices	Süre (dk)	Texture size	Süre (dk)		
Deney III, ikinci obje	k1-Fotoğraf (352 fotoğraf)	AG	71,319	6.02	2,829,945	9.32	740,852/380,429	7.02	4096	14.02	36.38
		CC	75,156	6.05	3,001,235	9.29	750,555/380,268	7.42		14.28	37.04
		RC	70,123	6.24	2,854,949	9.53	740,258/372,226	7.26		14.19	37.22
	k1-Video (3,10 dk)	AG	82,658	7.13	3,830,149	12.56	739,745/373,922	9.33		16.37	45.39
		CC	85,100	7.07	4,126,759	12.22	750,778/370,990	9.52		16.54	45.35
		RC	82,789	6.54	3,852,456	13.34	740,427/372,777	9.45		16.35	45.68
	k2-Fotoğraf (360 fotoğraf)	AG	70,369	6.49	2,194,747	8.56	742,277/374,189	6.58		14.29	35.92
		CC	72,188	6.55	2,309,748	8.26	740,220/374,980	7.02		14.11	35.94
		RC	70,258	6.26	2,247,102	9.15	739,715/388,199	7.25		14.18	36.84
	k2-Video (3,05 dk)	AG	83,159	7.56	3,526,624	11.44	741,334/371,155	9.31		16.27	44.58
		CC	85,222	7.32	3,624,441	11.55	740,747/376,884	7.35		16.26	42.48
		RC	83,785	7.43	3,490,334	11.58	738,802/375,410	7.22		16.08	42.31

4.5. Analiz ve Karşılaştırma

Oluşturulan modellerin analizi ve karşılaştırması için Cloud Compare yazılımı tercih edilmiştir. Cloud Compare yazılımı, 3B nokta bulutundan sapma analizi üretebilen açık kaynak kodlu bir yazılımdır (Yamafune, 2016). Her deneyde üretilen modeller kendi içinde aynı koordinat sisteminde olduğundan ayrı ayrı analiz ve karşılaştırma yapılmıştır.

Fotogrametrik değerlendirmede kullanılan yazılımlarda AG yazılımında elde edilen yoğun nokta bulutu referans olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni su altı fotogrametrisinde en yaygın kullanılan yazılım olmasıdır (Demesticha vd, 2014; Mangeruga vd., 2018; Vlachos vd., 2019; Hamal ve Ulvi, 2021).

Cloud Compare yazılımında

- Cloud to Cloud analizi
- Yüzey yoğunluğu analizi
- Pürüzlülük analizleri kullanılmıştır.

Nokta bulutları üzerinden yapılan farklılıkları belirlemeye yönelik çalışmalarda en basit ve hızlı 3B nokta bulutu karşılaştırma algoritması olan “Cloud to cloud” (C2C) algoritmasıdır. Girardeau-Montaut vd. (2005) tarafından geliştirilen algoritma herhangi bir grid model ve mesh model işlemine gerek duymadan doğrudan ilk nokta bulutundaki herhangi bir noktanın ikinci nokta bulutunda kendine en yakın olan noktaya olan uzaklığının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Her nokta için “pürüzlülük (R)” değeri, bu nokta ile nokta merkezli bir küre içindeki noktalar olan en yakın komşularında hesaplanan en uygun düzlem arasındaki mesafeye eşittir. Pürüzlülük, genel olarak pürüzsüz bir yüzey olduğu varsayıldığında, nokta bulutu üzerindeki gürültünün bir göstergesi olduğu için negatif bir metrik olarak kabul edilir.

Pürüzlülüğü hesaplamak için Cloud Compare yazılımının “roughness” aracı kullanılmıştır. R yarıçaplı boyut 0.025m değeri seçilmiştir. Bu nedenle, değer ne kadar düşükse, yoğun nokta bulutu o kadar az pürüzlüdür. Karşılaştırmalarımız için kullanılan değer, yoğun nokta bulutundaki tüm noktalar için pürüzlülüğün ortalamasıdır.

Yüzey Yoğunluğu (D), her nokta için (R yarıçaplı bir küre içinde) N komşularının sayısı sayılarak tahmin edilir. Bu değerlendirme için kullanılan yüzey yoğunluğu komşuluk sayısının komşuluk yüzeyine bölünmesiyle tanımlanır. Yazılım, nokta bulutunun tüm noktaları için yüzey yoğunluğunu tahmin eder ve ardından orantılı bir şekilde 1 m²'lik bir alan için ortalama değeri hesaplar. Yüzey yoğunluğu pozitif bir metrik olarak kabul edilir, çünkü bu yüzeyin dışındaki noktalar olarak mevcut olan gürültü hariç olmak üzere potansiyel olarak üretilen bir yüzey üzerindeki noktaların sayısını tanımlar. Hacim yoğunluğu metriği yerine yüzey yoğunluğu metriğinin kullanılmasının nedeni de budur. Modelin yüzey yoğunluğunu bulmak için Cloud Compare yazılımının "Surface density" aracı kullanılmıştır.

4.5.1. C2C Analizi

Birinci deneyde tüm çalışmalarında, Deney II ve Deney III'ün birinci modellerinde yoğun nokta bulutu üretilemediği analiz ve karşılaştırma yapılamamıştır.

C2C analizi, referans nokta bulutu ile karşılaştırılan nokta bulutu arasındaki her noktanın en yakın komşu mesafesini Hausdorff mesafe yapısı kullanarak hesaplanması metodolojisi ile çalışmaktadır (Eşitlik 4.1). En yakın komşu mesafesi ilkesi, karşılaştırılan nokta bulutundaki her nokta için referans bulutundaki en yakın noktanın arandığı ve Öklid mesafesinin hesaplandığı iki nokta arasındaki mesafeleri hesaplamak için kullanılır.

$$h(A,B) = \max_{\alpha \in A} \min_{\beta \in B} (\min_{\beta \in B} \{d(\alpha, \beta)\}) \quad (4.1.)$$

Denklemden;

α = A setinin nokta sayısı

β = B setinin nokta sayısı

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

Bu doğrultuda C2C analizi yapmak için Cloud Compare yazılımı tercih edilmiş ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır.

Deney II'nin ikinci modelinde C2C analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 4.12). Tablo 4.6'da noktalar arası en büyük mesafe ile ortalama mesafe gösterilmiştir. Tablo 4.6 ve Şekil 4.12 incelendiğinde k1 aksiyon kamerası ile elde edilen modellerin analiz sonuçlarında; noktalar arası mesafenin en az olduğu CC yazılımı, noktalar arası mesafenin ise en fazla olduğu RC yazılımı olmuştur. Ek olarak yazılımlarda video verisiyle elde edilen modelin fotoğraf verisiyle elde edilen modelden daha az noktalar arası mesafe hatası çıkmıştır. Bu hatanın daha düşük değer almasındaki en önemli neden ise, video verisinden fotoğraf karesi elde edilirken çok yüksek oranda bindirme oranı olmasından kaynaklanmaktadır.

k2 kamerasıyla elde edilen modellerin analiz sonuçlarında ise; aynı şekilde noktalar arası mesafenin en az olduğu CC yazılımındaki veriler olup noktalar arası en fazla mesafenin olduğu RC yazılımı olmuştur. Ancak yine aynı şekilde yazılımlarda video verisiyle elde edilen modelin fotoğraf verisiyle elde edilen modelden daha az noktalar arası mesafe hatası çıkmıştır. İki kameranın genel sonuçlarına bakıldığında; sadece yazılımlardaki değerlere bakılmadan kamera özelliklerine de bakılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.13 ve Tablo 4.7).

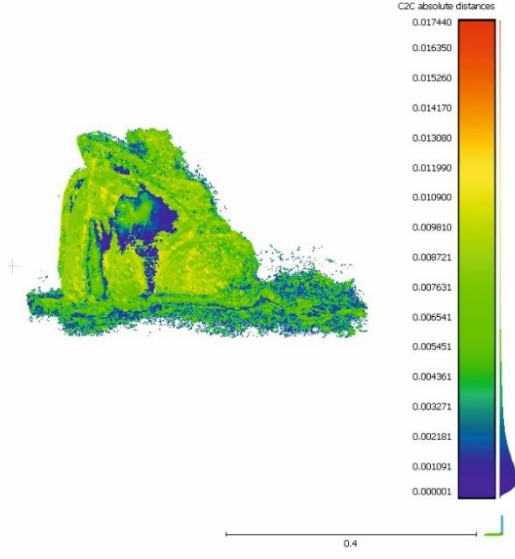
Tablo 4.6 Deney II'in ikinci modelinde nokta bulutların C2C analizine göre değerleri.

	En büyük değer	Ortalama değer
AG (k1-fotoğraf)-CC (k1-fotoğraf)	±0,7 cm	±0,5 cm
AG (k1-video)-CC (k1-video)	±0,8 cm	±0,4 cm
AG (k1-fotoğraf)-RC (k1-fotoğraf)	±2,0 cm	±2,0 cm
AG (k1-video)-RC (k1-video)	±1,9 cm	±1,0 cm
AG (k2-fotoğraf)-CC (k2-fotoğraf)	±5,0 cm	±2,1 cm
AG (k2 -video)-CC (k2 -video)	±4,0 cm	±1,9 cm
AG (k2 -fotoğraf)-RC (k2 -fotoğraf)	±18 cm	±8,0 cm
AG (k2 -video)-RC (k2 -video)	±8,0 cm	±3,0 cm

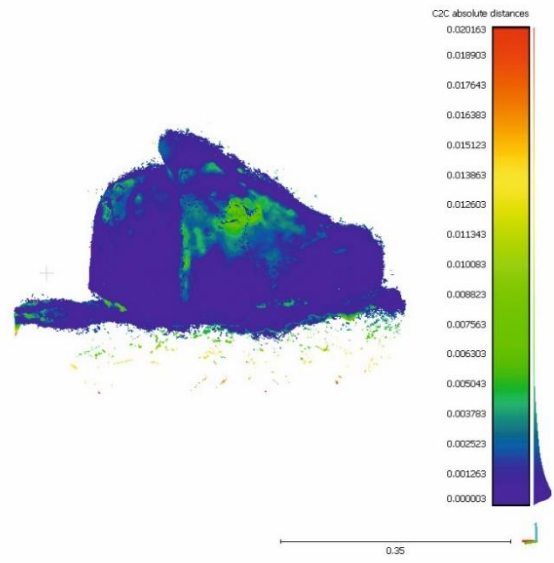
Tablo 4.7. Deney III'ün ikinci modelinde nokta bulutların C2C analizine göre değerleri.

	En büyük değer	Ortalama değer
AG (k1-fotoğraf)-CC (k1-fotoğraf)	±1,7 cm	± 0,8 cm
AG (k1-video)-CC (k1-video)	±1,9 cm	±0,5 cm
AG (k1-fotoğraf)-RC (k1-fotoğraf)	±6,0 cm	±2,6 cm
AG (k1-video)-RC (k1-video)	±5,0 cm	±2,4 cm
AG (k2-fotoğraf)-CC (k2-fotoğraf)	±8,0 cm	±3,8 cm
AG (k2 -video)-CC (k2 -video)	±4,2 cm	±2,1 cm
AG (k2 -fotoğraf)-RC (k2 -fotoğraf)	±19 cm	±9,0 cm
AG (k2 -video)-RC (k2 -video)	±9,0 cm	±4,0 cm

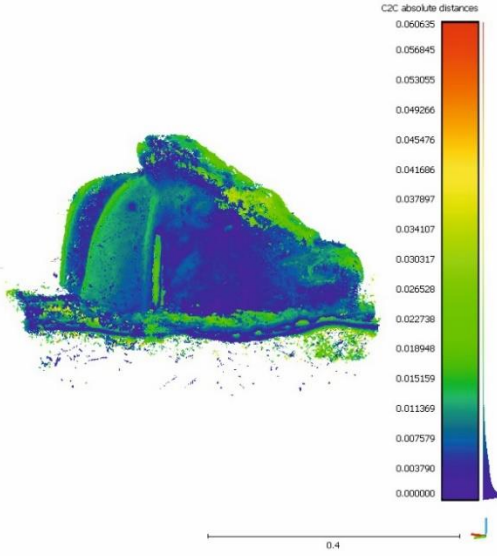
Agisoft (GoPro-Fotoğraf)-Context Capture (GoPro-Fotoğraf)



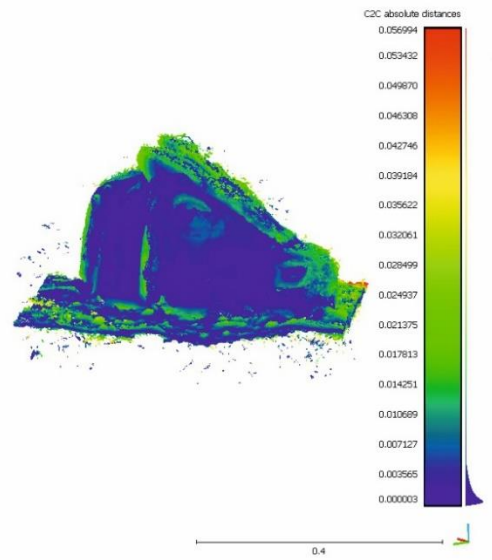
Agisoft (GoPro-Video)-Context Capture (GoPro-Video)



Agisoft (GoPro-Fotoğraf)-Reality Capture (GoPro-Fotoğraf)

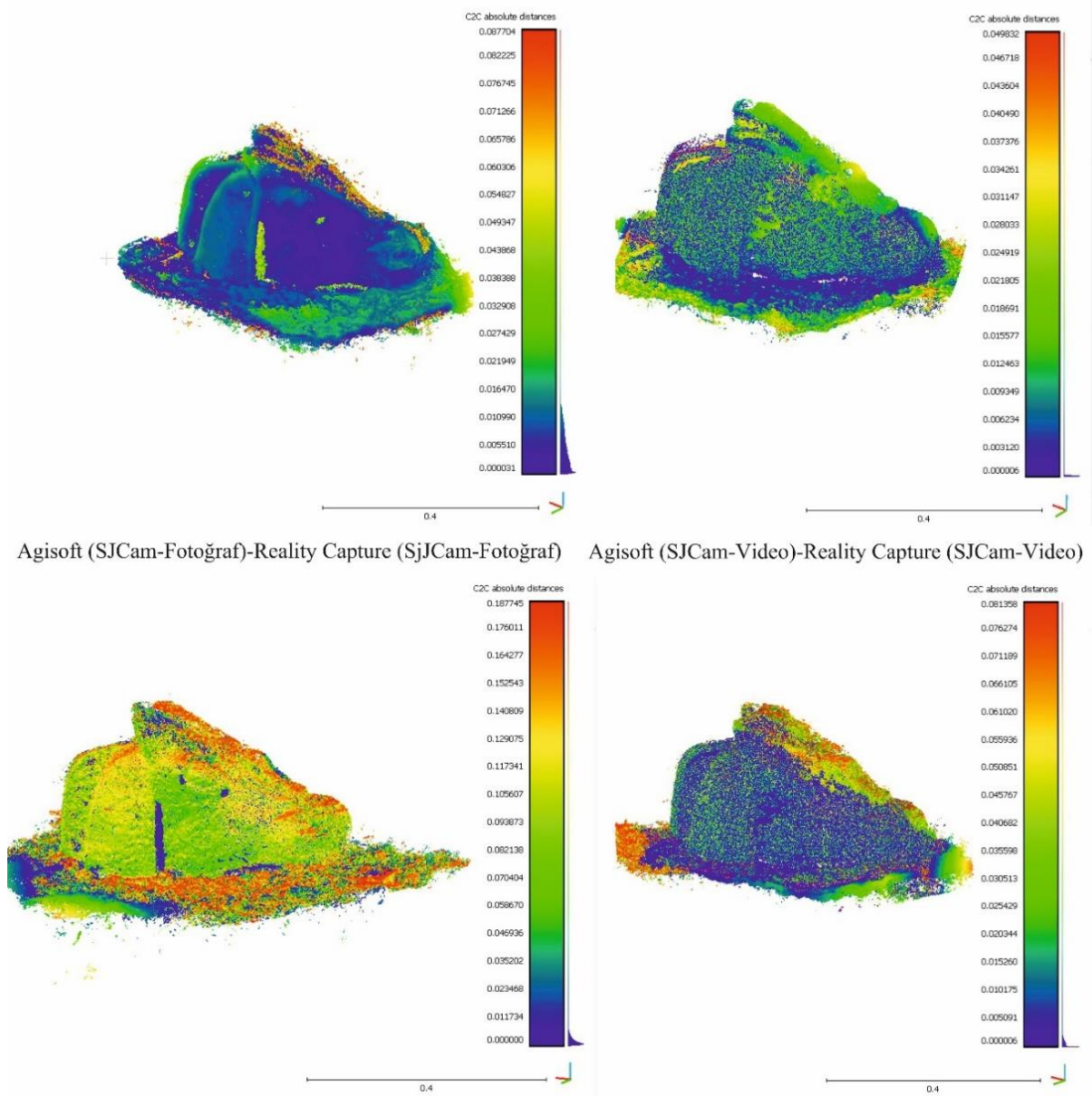


Agisoft (GoPro-Video)-Reality Capture (GoPro-Video)



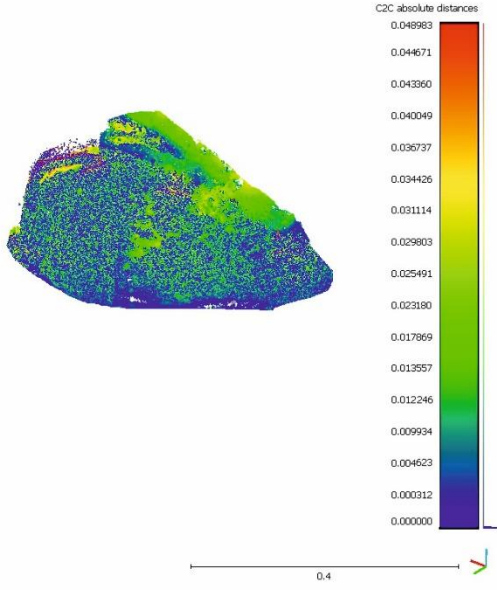
Şekil 4.12. Deney II'den (ikinci obje-K1) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.

Agisoft (SJCcam-Fotoğraf)-Context Capture (SJCcam-Fotoğraf) Agisoft (GoPro-Video)-Context Capture (GoPro-Video)

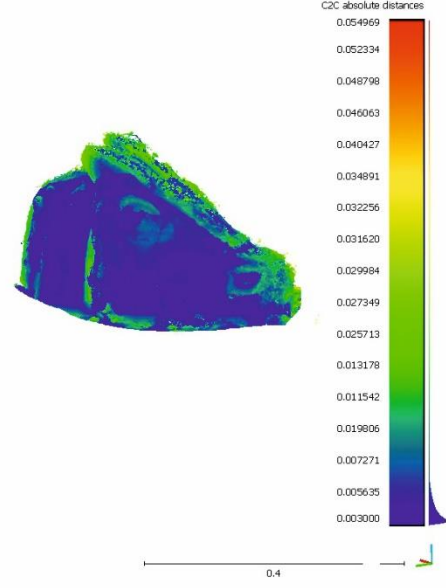


Şekil 4.13. Deney II'den (ikinci obje-K2) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.

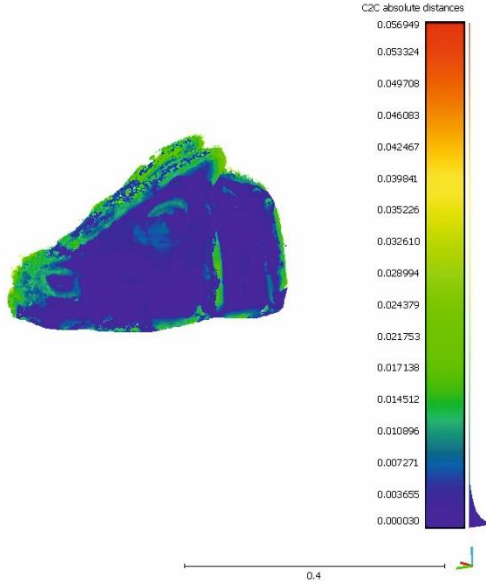
Agisoft (GoPro-Fotoğraf)-Context Capture (GoPro-Fotoğraf)



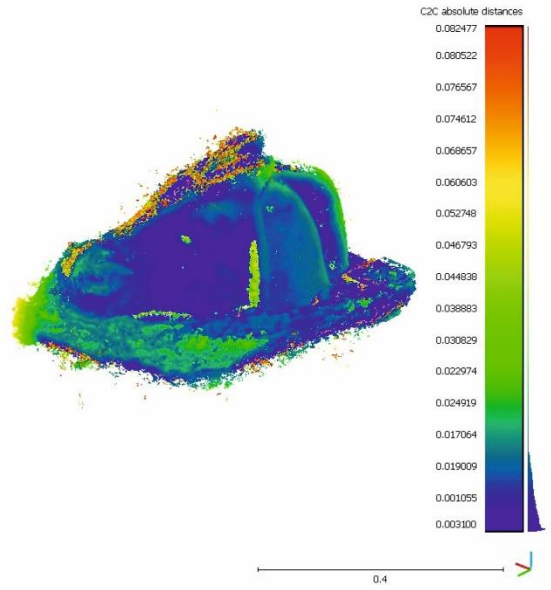
Agisoft (GoPro-Video)-Context Capture (GoPro-Video)



Agisoft (GoPro-Fotoğraf)-Reality Capture (GoPro-Fotoğraf)

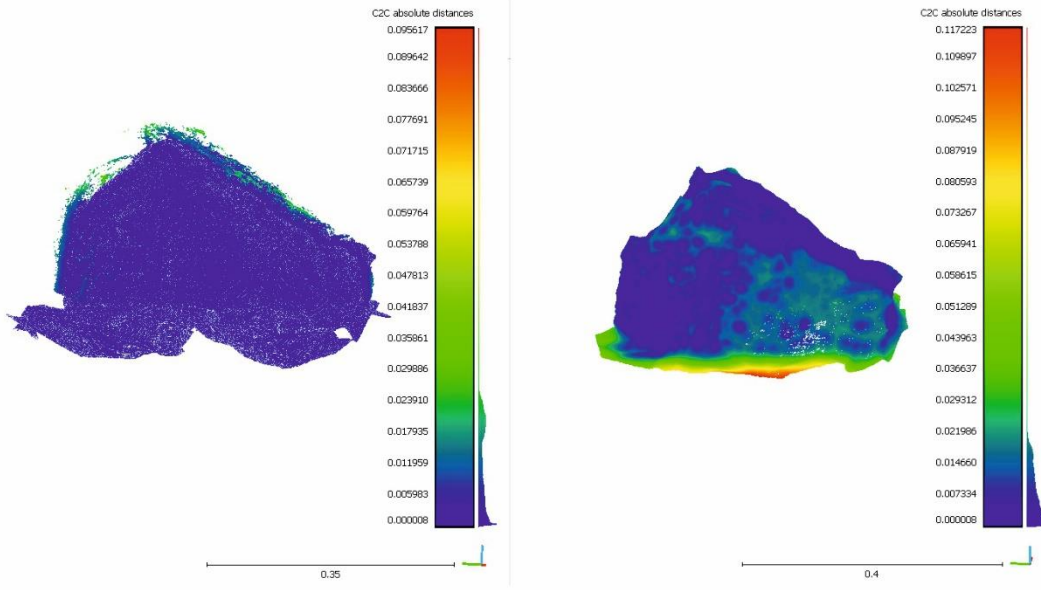


Agisoft (GoPro-Video)-Reality Capture (GoPro-Video)

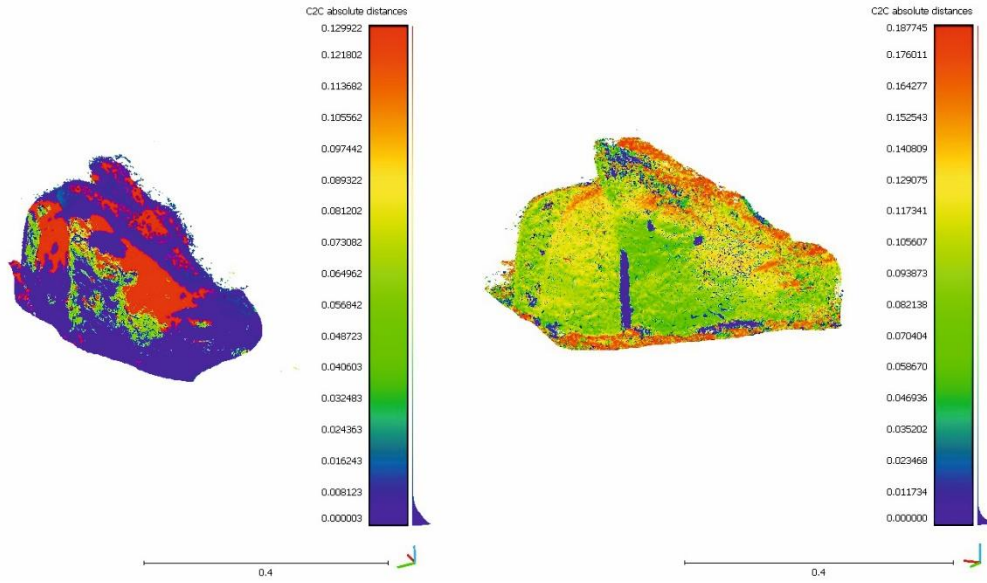


Şekil 4.14. Deney III'den (ikinci obje-K1) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.

Agisoft (SJCcam-Fotoğraf)-Context Capture (SJCcam-Fotoğraf) Agisoft (GoPro-Video)-Context Capture (GoPro-Video)



Agisoft (SJCcam-Fotoğraf)-Reality Capture (SjJCam-Fotoğraf) Agisoft (SJCcam-Video)-Reality Capture (SJCcam-Video)



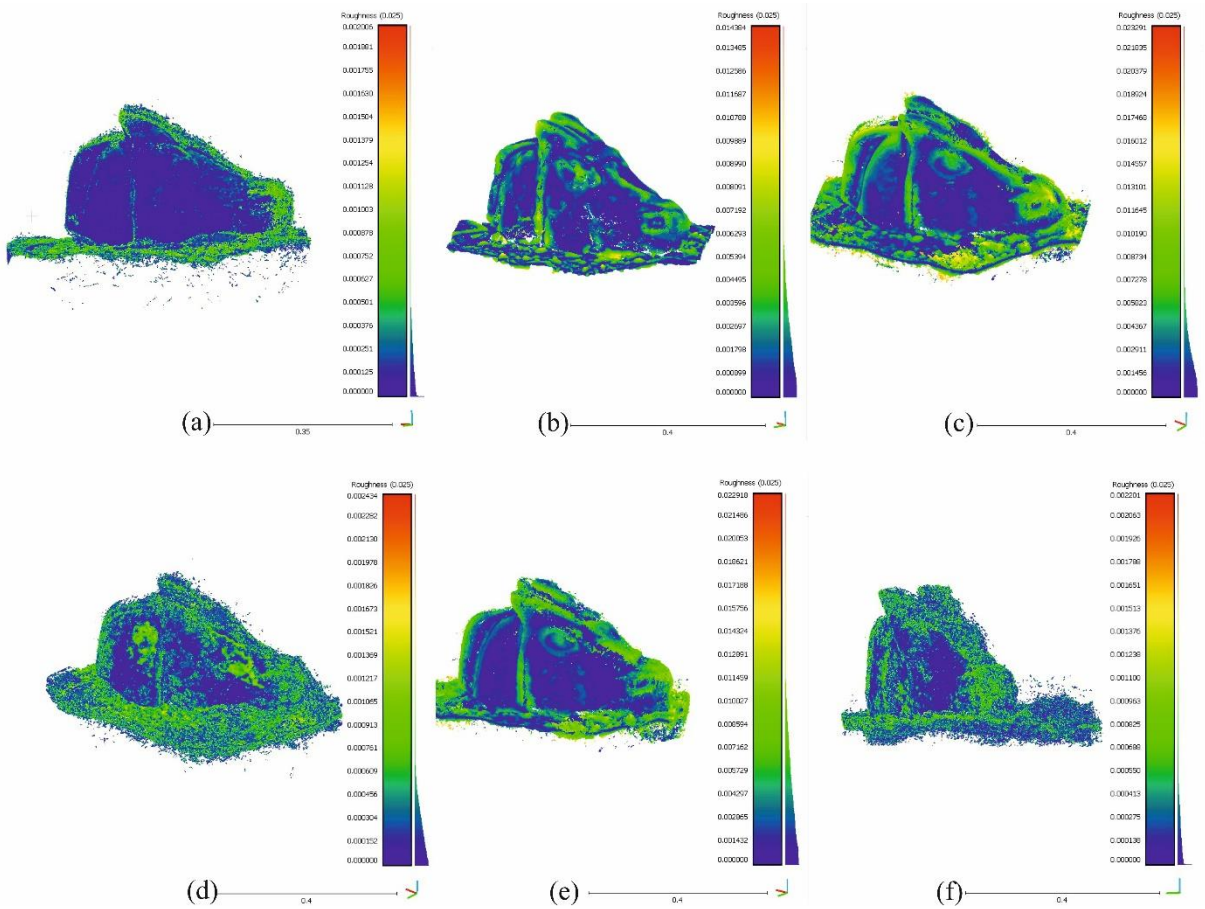
Şekil 4.15. Deney III'den (ikinci obje-K2) üretilen nokta bulutlarının C2C analiz sonuçları.

Deney III'ün ikinci modelinde C2C analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 4.14; Şekil 4.15). Tablo 4.7 incelendiğinde noktalar arası en büyük mesafe ile ortalama mesafe gösterilmiştir. Tablo 4.7 ve Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 incelendiğinde diğer deneyde olduğu gibi k1 aksiyon kamerası ile elde edilen modellerin daha doğru sonuçlar verdiği, CC yazılımının ise referans modele yakın model oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

4.5.2. Pürüzlülük Analizi

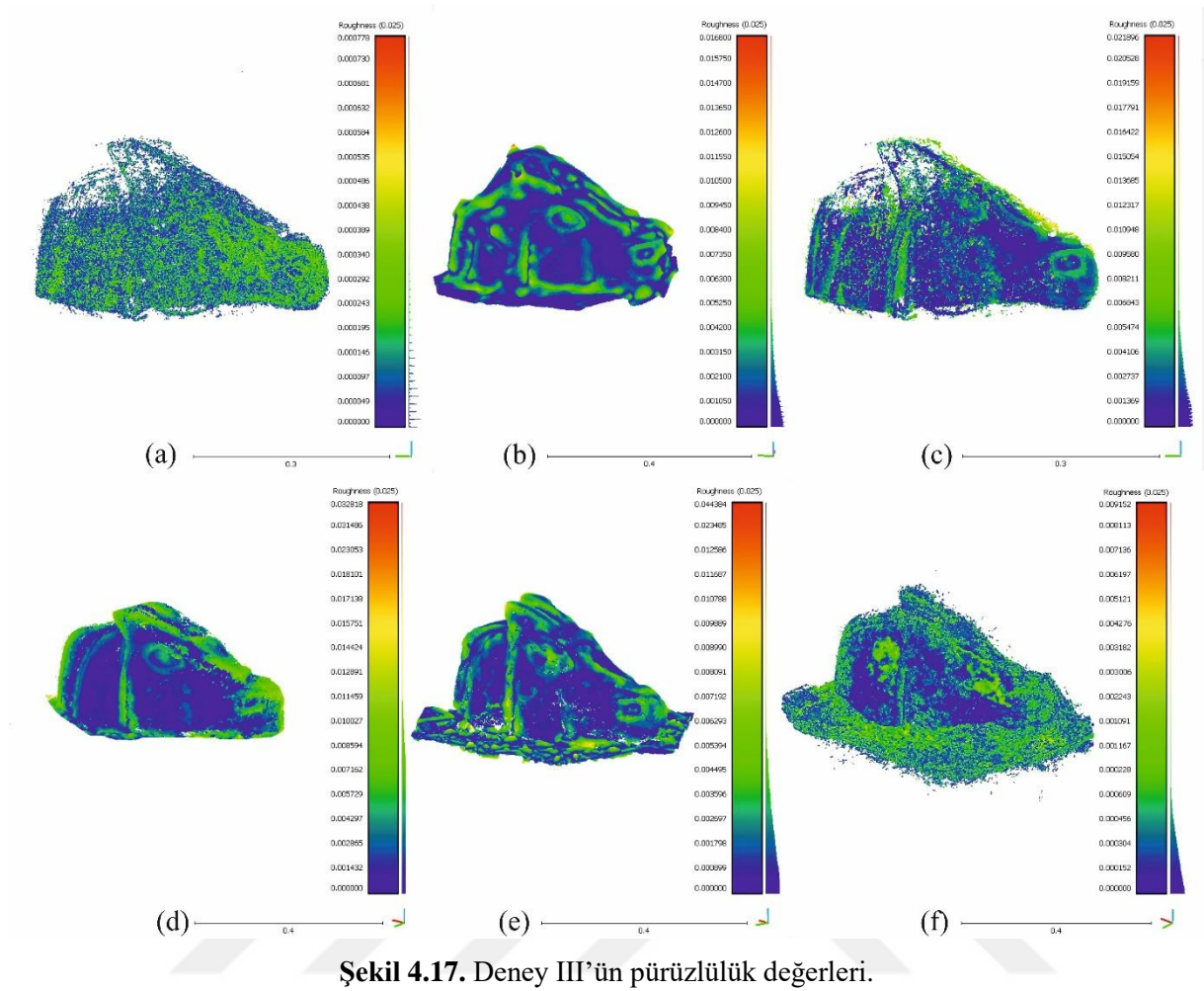
Pürüzlülük hesabı, nokta bulutundaki her bir noktanın en yakın komşuları üzerinde hesaplanan en uygun düzlem arasındaki en kısa mesafeye denilmektedir (Girardeau-Montaut, 2016). Analizdeki amaç, lejant kısmındaki değer ne kadar düşüğe, nokta bulut o kadar az pürüzlü olduğunu anlamına gelmektedir.

Deney II'nin ikinci objesinin Pürüzlülük analizleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre CC ile elde edilen modeller daha az gürültülü olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.16. Deney II'nin pürüzlülük değerleri.

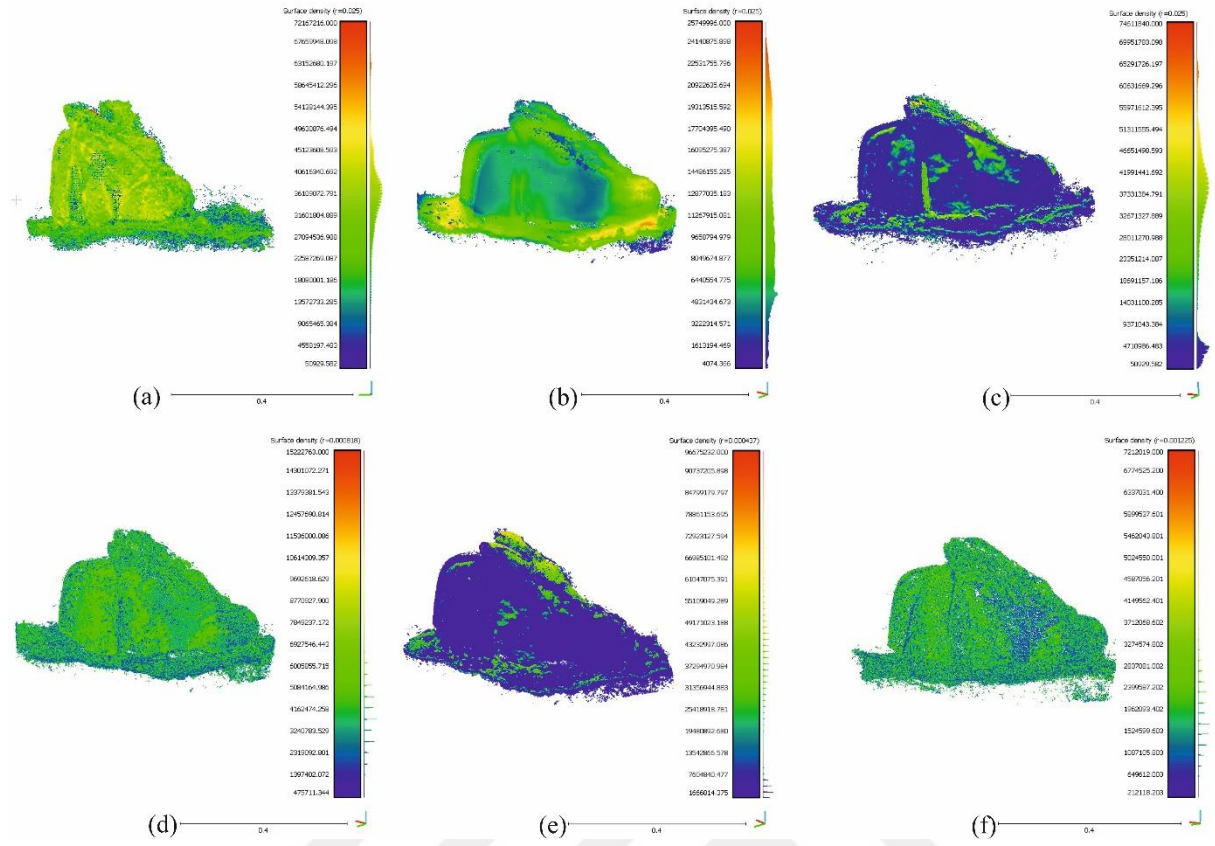
Deney III'ün ikinci objesinde ise Pürüzlülük analizleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Deney II'de olduğu gibi CC ile elde edilen modeller daha az gürültülü olduğu sonucuna varılmıştır.



4.5.3. Yüzey Yoğunluğu Analizi

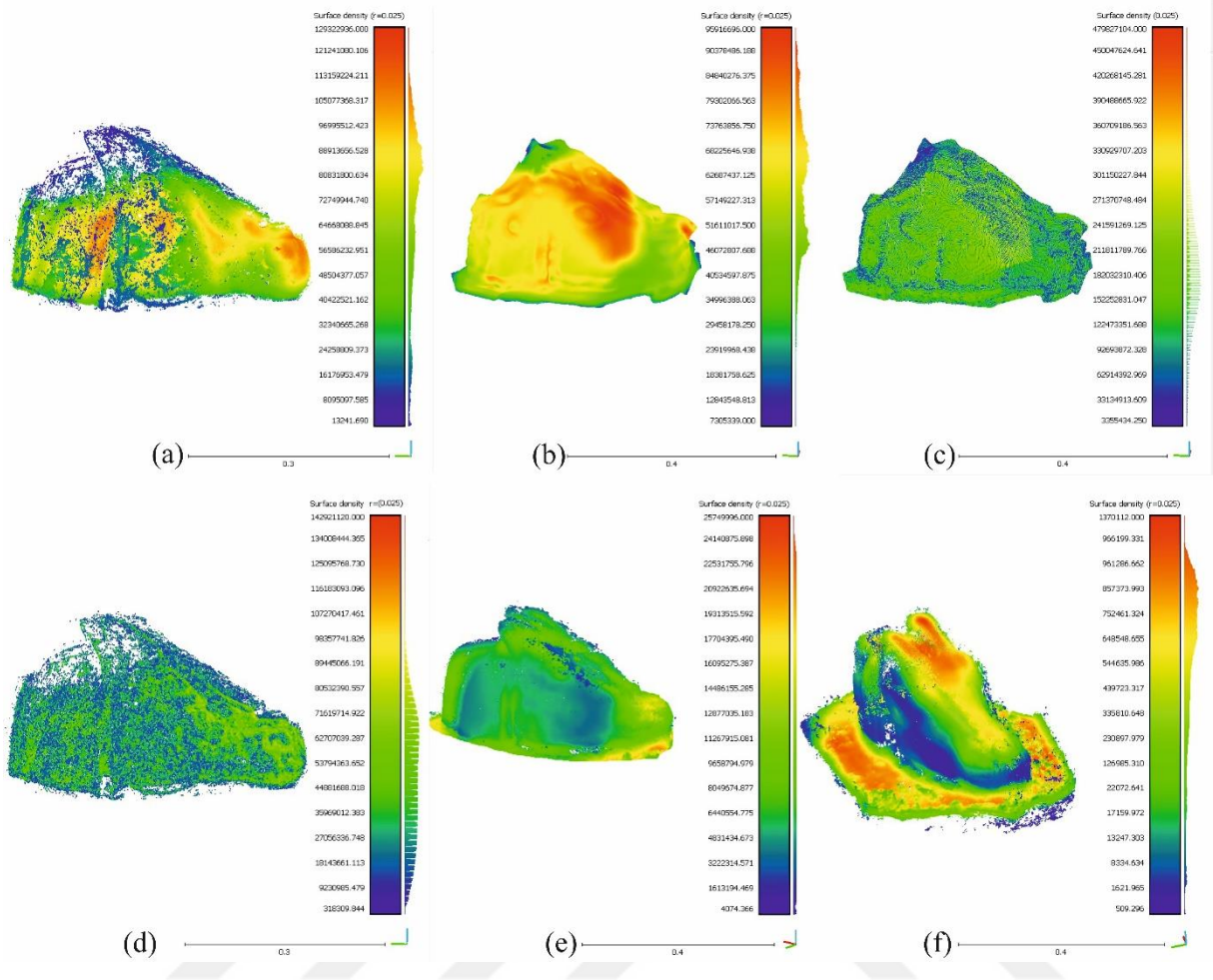
Modelin yüzey yoğunluğunu bulmak için Cloud Compare yazılımında yüzey yoğunluğu analizi yapılmıştır. Pürüzlülük analizindeki aynı hesaplamalar yüzey yoğunluğu analizi için de kullanılmıştır.

Deney II'nin İkinci objesinin Yüzey yoğunluğu analizleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre nokta bulutları sayısı ile doğru orantılı olduğu ve CC ile elde edilen modellerin yüzey yoğunluğunun daha fazla olduğu referans modelin ise en az yüzey yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.18. Deney II'nin yüzey yoğunluğu.

Deney III'ün üçüncü objesinin Yüzey yoğunluğu analizleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Deney II'deki gibi nokta bulutları sayısı ile doğru orantılı olduğu ve CC ile elde edilen modellerin yüzey yoğunluğunun daha fazla olduğu referans modelin ise en az yüzey yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Deney III'ün yüzey yoğunluğu.

4.5.4. Analiz Karşılaştırmaları

Tüm yazılımlardan elde edilen nokta bulutlarına ayrı ayrı pürüzlülük ve yüzey yoğunluğu analizi yapılmıştır. Test edilen yazılımların 3B modellerinin performansı açısından genel bir karşılaştırmasını kolaylaştırmak ve sayısız sonucu değerlendirmek için, yüzey yoğunluğu D ve pürüzlülük R metrikleri normalleştirilmiştir (Eşitlik 4.2; Eşitlik 4.3; Eşitlik 4.4; Eşitlik 4.5). Amaca göre, alınan metrikler ve sonuçlar, kullanılan veri kümesi için her yazılımın artılarını ve eksilerini vurgulayarak kritik bir bakış açısıyla sunulmuştur. Bunu takiben, belirtilen üç yazılım paketinden hangisinin bu özel ortamda ve bu belirli veri kümesi için en iyi performansı gösterdiği konusunda genel bir sonuca varmak için C3Dm analizi gerçekleştirilmiştir (Mangeruga vd., 2018; Vlachos vd., 2019; Eşitlik 4.6).

$$Z = \left(\frac{X - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \right) \quad (4.2.)$$

$$\tilde{D} = \left| 1 - 2 \left(\frac{D_{\text{yazılım}}}{D_{\text{referans}}} \right) \right| \quad (4.3.)$$

$$\tilde{R} = \left| 2 - \left(\frac{D_{\text{yazılım}}}{D_{\text{referans}}} \right) \right| \quad (4.4.)$$

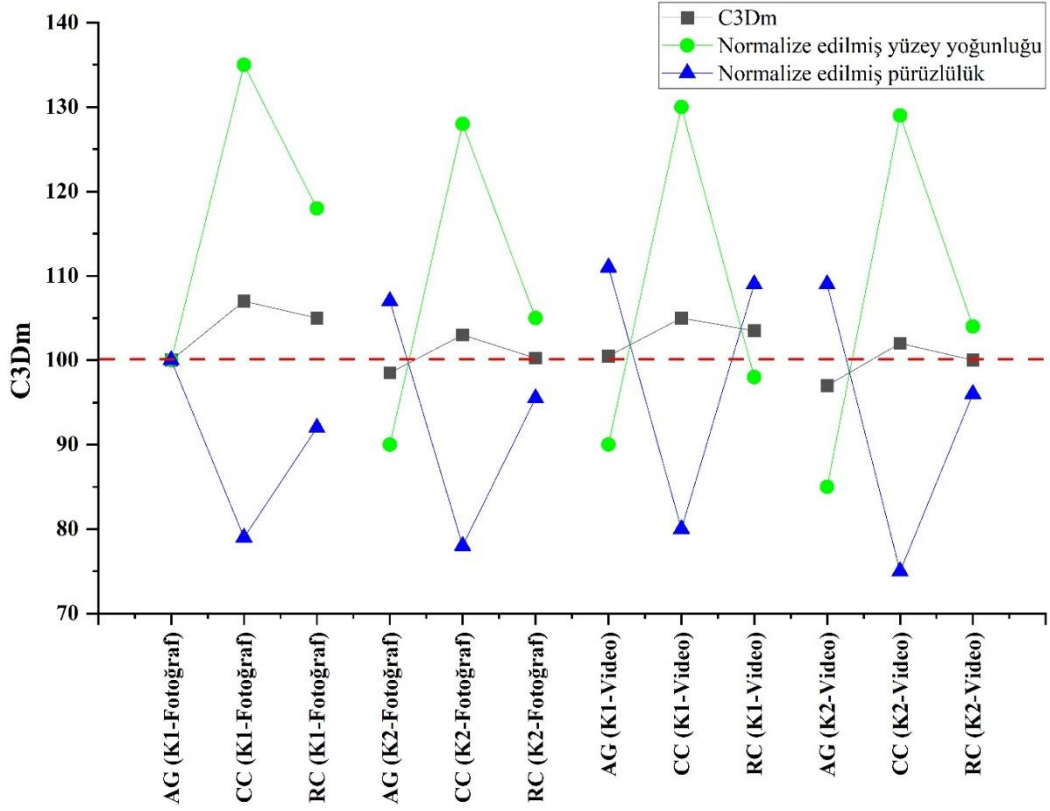
$$ORT_{\text{yazılım}} = \frac{\tilde{D} + \tilde{R}}{2} \quad (4.5.)$$

$$C3Dm = \frac{ORT_{\text{yazılım}}}{ORT_{\text{referans}}} \quad (4.6.)$$

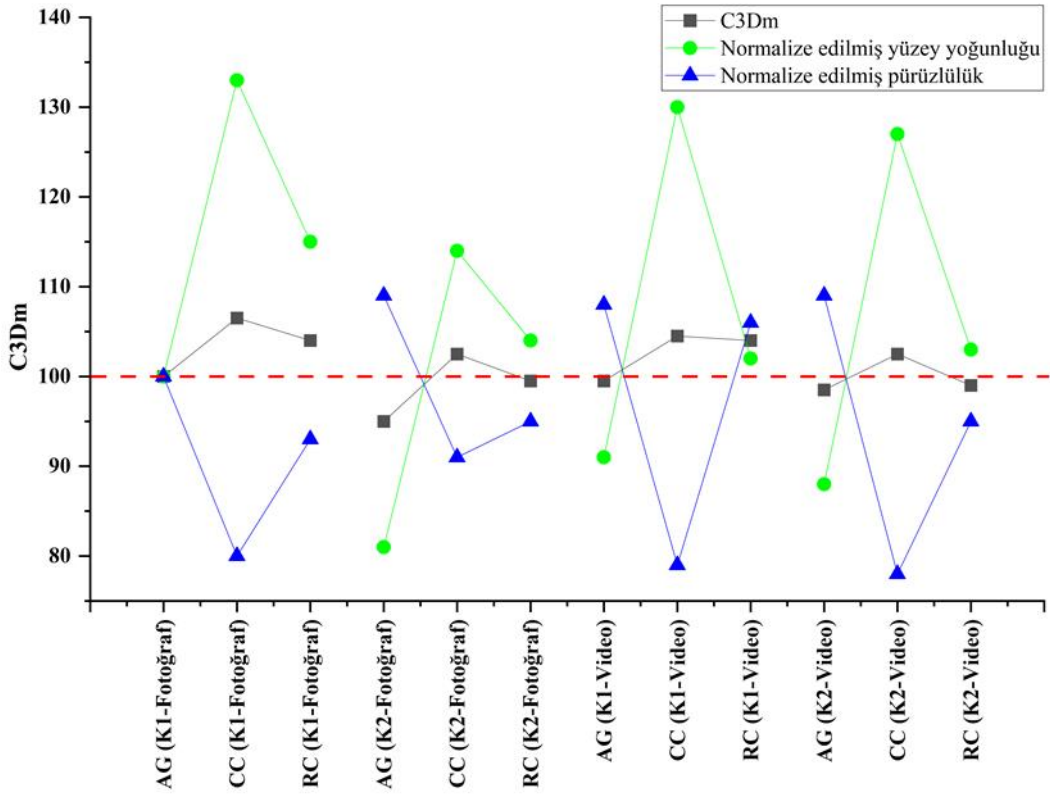
Deney II'nin ikinci modelinde yazılımların genel 3B modellerinin performansı karşılaştırdığında Şekil 4.20 incelenirse, CC yazılımının k1 ile edilen fotoğraf verisinden üretilmiş modelin en değerli sonuçları ürettiği sonucuna varılmıştır. Ardından, yüksek yüzey yoğunluğu değeri nedeniyle k1 ile elde edilen video verisinden üretilmiş model gelmektedir. Bu sonuçlardan hareketle CC yazılımı alternatif bir yazılım olabileceği görüşü destekleyici olduğu görülmüştür. Ancak sadece Kombine 3B metrik değerlerini gözlemleyerek CC iyi bir seçenek denilemez. Çünkü bu noktada C2C analizi incelendiğinde k2 ile elde edilen fotoğraf ve video verisinden CC yazılımında üretilen modelin hata değeri nispeten yüksek bir değer almıştır. Başka bir deyişle kullanılan donanımın da yazılım seçimi kadar öneme sahiptir.

Deney III'ün üçüncü modelinde ise yazılımların genel 3B modellerinin performansı karşılaştırdığında Şekil 4.21'de görüldüğü üzere aynı şekilde CC yazılımının k1 ile edilen fotoğraf verisinden üretilmiş model en değerli sonucu verirken Referans modelin AG yazılımında üretilmiş olmasına rağmen bu yazılımdan üretilen bazı modellerin 100 değerinin altında kalmıştır. Diğer dikkat edilecek husus ise, k2 ile elde edilmiş verilerden üretilen modellerin %95'in altında kalması donanım seçiminin de önem arz ettiğini vurgulamaktadır.

Bu sonuçlardan hareketle CC yazılımı alternatif bir yazılım olabileceği görüşü bu deney sonuçlarına göre de destekleyici olduğu görülmüştür. Ancak sadece kombine 3B metrik (C3Dm) değerlerini gözlemleyerek CC iyi bir seçenek denilemez. Bunun sebebi daha fazla analiz yapılması gerektiği ve daha büyük alanlar üzerinde çalışmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.20. Deney II'nin ikinci objesinde yazılımların ürettiği nokta bulutlarının C3Dm analizi.



Şekil 4.21. Deney III'nin ikinci objesinde yazılımların ürettiği nokta bulutlarının C3Dm analizi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, su altı ortamda farklı kameralar ile elde edilen verilerin (fotoğraf ve video) işleme aşamaları, dikkat edilmesi gereken hususlar sunulmuştur. Fotoğraf çekimi sırasında sığ derinlikte ve iyi çevre koşulları (su bulanıklığının olmaması ve iyi aydınlatma koşulları) altında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yazılımlar, ayrıntılı ve gerçekçi bir görüntü vermede oldukça etkili olmuştur.

Video çekim yönteminde, fotoğraf çekimine göre kıyasla daha kısa sürede ölçüm işlemi gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu nedenle dalgıçların su altında geçirdikleri süre kısıtlı olduğu için çalışma alanının büyük olduğu durumlarda video çekim yöntemi kullanılması gerektiği savunulmuştur. Buna ek olarak video görüntülerinden kareler oluşturma işlemi yapılırken ardışık görüntülerin üst üste binme oranı daha yüksek olduğundan fotoğrafların hizalanması daha kolay gerçekleşmektedir. Ancak bu karelerin hepsinin fotogrametri işlemi için uygun olmadığı görülmüştür. Bazı görüntüler bulanık çıkmıştır ve bu görüntüler fotogrametri işleminde hariç tutulmuştur. Dolayısıyla uygun fotoğrafların seçim süreci için ekstra zaman ayrılması gerekmektedir. Ayrıca çıkarılan kareler düşük görüntü çözünürlüğünün sahiptir. Bu nedenle görüntülerde renk azlığı ortaya çıkmaktadır. Değerlendirilen metriklere dayanarak, her bir yazılımın nerede büyüdüğü ve düştüğü sonucuna varılabilir. Tüm yazılımların eksiksiz nokta bulutları üretmediği görülmektedir.

Bu özel çalışma sırasında değerlendirilen metrik analizlerden ek olarak, pürüzlülük ile ilgili sonuçların incelenmesi, su altındaki obje ya da ortamın gerçeklik ile uzayda yakalamanın ya da sahnelemenin tek bir yazılımda daha iyi performans göstermediği ortaya çıkmıştır.

Ne yazık ki, komşu noktaların sayısının nokta bulutunun sahip olduğu toplam nokta sayısı ile orantılı olması nedeniyle yüzey yoğunluğu metrikleriyle ilgili net bir sonuç çıkarılamaz. Nokta bulutu bütünlüğü, nokta sayısı, nokta dağılımı ve değerlendirilen tüm metrikler ile ilgili her şey göz önüne alındığında, kullanılan yazılımların su altında 3B yoğun nokta bulutlarının üretimi için en iyi seçenekler olabileceği söylenebilir. Bu karşılaştırmalardan bazı fotogrametrik yazılımların diğerlerine göre daha avantajlı olduğu görülse de tek bir ölçümle elde edilen veri kümesinin sonuçlarına güvenilemeyebilir. Bu yüzden farklı su altı koşullarında derinliklerin değişken olduğu hatta mevsim ve ölçüm saatlerinin farklı olduğu birden fazla ölçüm değerlendirilmesi gerektiğine varılmıştır. Bu nedenle gelecekte, farklı koşullar altında farklı veri kümeleri ile yapılacak daha fazla değerlendirme, bir su altı ortamında hangi fotogrametrik paketin en iyi 3B nokta bulutlarını ürettiği konusunda somut sonuçlar verebilir. Bu da su altı fotogrametrisinin çeşitli alanlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Sunulan araştırma modeli, su altı kameralarının yakın mesafe fotogrametrisinde olası kullanımını doğrulamaktadır ve su altı fotogrametrisi bağlamında daha ileri araştırmalar için yeni bir başlangıç olarak görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdo, D. A., Seager, J. W., Harvey, E. S., McDonald, J. I., Kendrick, G. A., and Shortis, M. R. (2006). "Efficiently measuring complex sessile epibenthic organisms using a novel photogrammetric technique." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 339, No.1, pp. 120-133.
- Agrafiotis, P., Skarlatos, D., Forbes, T., Poullis, C., Skamantzari, M., and Georgopoulos, A. (2018). "Underwater photogrammetry in very shallow waters: main challenges and caustics effect removal." *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, pp.15-22.
- Agrawal, A., Ramalingam, S., Taguchi, Y., and Chari, V. (2012). "A theory of multi-layer flat refractive geometry." In *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3346-3353.
- Anelli, M., Julitta, T., Fallati, L., Galli, P., Rossini, M., and Colombo, R. (2019). "Towards new applications of underwater photogrammetry for investigating coral reef morphology and habitat complexity in the Myeik Archipelago, Myanmar." *Geocarto International*, Vol. 34, No. 5, pp. 459-472.
- Balletti, C., Beltrame, C., Costa, E., Guerra, F., and Vernier, P. (2015). "Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Marble Cargos Shipwreck." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 7-13.
- Barnes, H. (1952). "Underwater television and marine biology." *American Scientist*, Vol. 40, No. 4, pp. 679-681.
- Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R., and Neumann, L. (2015). "A new color correction method for underwater imaging." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 40, No. 5, pp. 25.
- Boutros, N., Shortis, M. R., and Harvey, E. S. (2015). "A comparison of calibration methods and system configurations of underwater stereo-video systems for applications in marine ecology." *Limnology and Oceanography: Methods*, Vol. 13, No.5, pp. 224-236.
- Brown, D.C. (1971). "Close-range camera calibration." *Photogramm. Eng.*, Vol. 37, No. 8, pp. 855-866.
- Bryson, M., Johnson-Roberson, M., Pizarro, O., and Williams, S. B. (2016). "True color correction of autonomous underwater vehicle imagery." *Journal of Field Robotics*, Vol. 33, No. 6, pp. 853-874.

Burns, J. H. R., and Delparte, D. (2017). "Comparison of commercial structure-from-motion photogrammetry software used for underwater three-dimensional modeling of coral reef environments." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 127-131.

Casella, E., Collin, A., Harris, D., Ferse, S., Bejarano, S., Parravicini, V., and Rovere, A. (2017). "Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques." *Coral Reefs*, Vol. 36, No.1, pp. 269-275.

Cheng, H., Chu, J., Zhang, R., Tian, L., and Gui, X. (2020). "Turbid underwater polarization patterns considering multiple Mie scattering of suspended particles." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 86, No. 12, pp. 737-743.

Demesticha, S., Skarlatos, D., and Neophytou, A. (2014). "The 4th-century BC shipwreck at Mazotos, Cyprus: new techniques and methodologies in the 3D mapping of shipwreck excavations." *Journal of Field Archaeology*, Vol. 39, No. 2, pp. 134-150.

Doležal, M., Vlachos, M., Secci, M., Demesticha, S., Skarlatos, D., and Liarokapis, F. (2019). "Understanding underwater photogrammetry for maritime archaeology through immersive virtual reality." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 85-91.

Drap, P. (2012). "Underwater photogrammetry for archaeology." *Special applications of photogrammetry*, Rijeka, Croatia.

Drap, P., Merad, D., Hijazi, B., Gaoua, L., Nawaf, M. M., Saccone, M., and Castro, F. (2015). "Underwater photogrammetry and object modeling: a case study of Xlendi Wreck in Malta." *Sensors*, Vol. 15, No. 12, pp.30351-30384.

Drap, P., Merad, D., Mahiddine, A., Seinturier, J., Peloso, D., Boi, J. M., and Long, L. (2013). "Underwater photogrammetry for archaeology. What will be the next step?." *International journal of heritage in the digital era*, Vol. 2, No. 3, pp. 375-394.

Drap, P., Seinturier, J., Hijazi, B., Merad, D., Boi, J. M., Chemisky, B., and Long, L. (2015). "The ROV 3D Project: Deep-sea underwater survey using photogrammetry: Applications for underwater archaeology." *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, Vol. 8, No.4, pp. 1-24.

Figueira, W., Ferrari, R., Weatherby, E., Porter, A., Hawes, S., and Byrne, M. (2015). "Accuracy and precision of habitat structural complexity metrics derived from underwater photogrammetry." *Remote Sensing*, Vol. 7, No. 12, pp. 16883-16900.

Fryer, J. G., and Fraser, C. S. (1986). "On the calibration of underwater cameras." *The Photogrammetric Record*, Vol. 12, No. 67, pp. 73-85.

Girardeau-Montaut, D. (2016). "CloudCompare. France: EDF Rand D Telecom ParisTech."

Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R., and Thibault, G. (2005). "Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36, W19.

Granshaw, S. I. (1980). "Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry." *The Photogrammetric Record*, Vol. 10, No. 56, pp. 181-207.

Green, J., Matthews, S., and Turanlı, T. (2002). "Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: different applications for different problems." *International Journal of Nautical Archaeology*, Vol. 31, No. 2, pp. 283-292.

Güneş, A. E. 2019. Nitrojen Narkozu. Aktaş, Ş. 2019. Eğitmenler için Dalış Sağlığı, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın no: 51, İstanbul, s.67-76.

Guo, T., Capra, A., Troyer, M., Grün, A., Brooks, A. J., Hench, J. L., and Dubbini, M. (2016). "Accuracy assessment of underwater photogrammetric three-dimensional modelling for coral reefs." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 41 No. B5, pp. 821-828.

Gürbüz, H. (2006). Genel Fotogrametri 1. Birlik Matbaacılık, Ankara, s.213.

Hamal, S. N. G. and Ulvi, A. (2021). 3D Modeling of Underwater Objects Using Photogrammetric Techniques and Software Comparison. 3rd Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 164-167, Mersin, Turkey

Hamal, S. N. G., ve Ulvi A. (2020). Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 60-71.

Hamal, S. N. G., Ulvi A., and Yiğit, A. Y. (2021). Three-Dimensional Modeling of an Object Using Underwater Photogrammetry. *Advanced Underwater Sciences*, 1(1), 11-15.

Harvey, E. S., and Shortis, M. R. (1998). "Calibration stability of an underwater stereo-video system: implications for measurement accuracy and precision." *Marine Technology Society Journal*, Vol. 32, No. 2, pp. 3-17.

Höhle, J. (1971). "Reconstruction of the underwater object." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 37 No. 9, pp. 948-954.

Jaffe, J. S. (1990). Computer modeling and the design of optimal underwater imaging systems. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 15(2), 101-111.

Jordt-Sedlazeck, A., and Koch, R. (2012). "Refractive calibration of underwater cameras." In *European conference on computer vision*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 846-859.

Kahraman, B. B., Aşiret, G. D., Devrez, N., Özdemir, L., Akdemir, N. 2012. Dalış Sporü ve Dalışlarda Yaşanan Sağlık Sorunlarının Önlenmesinde Hemşirenin Rolü. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, Vol. 19, No. 1, pp. 73-81.

Kaya, F. Z., Akçay, Ö., Avşar, E. Ö., and Aydar, U. (2019). "Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar."

Lavest, J. M., Rives, G., and Lapresté, J. T. (2000, June). "Underwater camera calibration." In *European Conference on Computer Vision*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 654-668.

Li, R., Li, H., Zou, W., Smith, R. G., and Curran, T. A. (1997). "Quantitative photogrammetric analysis of digital underwater video imagery." *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 22. No.2, pp.364-375.

Maas, H. G. (2015). "A modular geometric model for underwater photogrammetry." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 40, No. 5, pp. 139.

Maas, H. G. (2015). "On the accuracy potential in underwater/multimedia photogrammetry." *Sensors*, Vol. 15, No. 8, pp. 18140-18152.

Maas, H. G., and Luhmann, T. (2022). “Editorial for Special Issue: Recent Developments in Multi-Media and Underwater Photogrammetry.” PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, Vol. 90, No.1, pp. 1.

Malinverni, E. S., Cerrano, C., Pantaleo, U., Andreola, C., Paolanti, M., Chiappini, S., and Pierdicca, R. (2020). “Image enhancement comparison to improve underwater cultural heritage survey.” In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 949, No. 1, pp. 12102.

Mallet, D., and Pelletier, D. (2014). “Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: a review of sixty years of publications (1952–2012).” Fisheries Research, Vol. 154, pp. 44-62.

Mangeruga, M., Bruno, F., Cozza, M., Agrafiotis, P., and Skarlatos, D. (2018). “Guidelines for Underwater Image Enhancement Based on Benchmarking of Different Methods.” Remote Sensing, Vol. 10, No. 10, pp. 1652.

Martínez-Santos, P., and Martínez-Alfaro, P. E. (2014). “A priori mapping of historical water-supply galleries based on archive records and sparse material remains.” An application to the Amanuel qanat. Journal of Cultural Heritage, Vol. 15, No. 6, pp. 656-664.

McCarthy, J., and Benjamin, J. (2014). “Multi-image photogrammetry for underwater archaeological site recording: an accessible, diver-based approach.” Journal of maritime archaeology, Vol. 9, No. 1, pp. 95-114.

McGlamery, B. L. (1980). “A computer model for underwater camera systems.” In Ocean Optics VI, International Society for Optics and Photonics, Vol. 208, pp. 221-231.

Menna, F., Nocerino, E., Fassi, F., and Remondino, F. (2016). “Geometric and optic characterization of a hemispherical dome port for underwater photogrammetry.” Sensors, Vol. 16, No. 1, pp. 48.

Nakath, D., She, M., Song, Y., and Köser, K. (2022). “An Optical Digital Twin for Underwater Photogrammetry.” PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, Vol. 90, pp. 69-81.

Nawaf, M., Drap, P., Ben-Ellefi, M., Nocerino, E., Chemisky, B., Chassaing, T., and Sourisseau, J. C. (2021). “Using virtual or augmented reality for the time-based study of complex underwater archaeological excavations.” ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 8, pp. 117-124.

Newton, I., Baldwin, R. A., and Fryer, J. G. (1989). "Underwater photogrammetry." *Non-Topographic Photogrammetry*, pp. 147-166.

Nocerino, E., Menna, F., and Grün, A. (2021). "Bundle adjustment with polynomial point-to-camera distance dependent corrections for underwater photogrammetry." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*, Vol. 43, pp. 673-679.

Nocerino, E., Menna, F., and Verhoeven, G. (2022). "Good vibrations? How image stabilisation influences photogrammetry." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 46, pp. 395-400.

Nocerino, E., Menna, F., Gruen, A., Troyer, M., Capra, A., Castagnetti, C., and Holbrook, S. J. (2020). "Coral reef monitoring by scuba divers using underwater photogrammetry and geodetic surveying." *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 18, pp.3036.

Pacheco-Ruiz, R., Adams, J., and Pedrotti, F. (2018). "4D modelling of low visibility Underwater Archaeological excavations using multi-source photogrammetry in the Bulgarian Black Sea." *Journal of Archaeological Science*, Vol. 100, pp. 120-129.

Piazza, P., Cummings, V., Guzzi, A., Hawes, I., Lohrer, A., Marini, S., and Schiaparelli, S. (2019). "Underwater photogrammetry in Antarctica: long-term observations in benthic ecosystems and legacy data rescue." *Polar Biology*, Vol. 42, No.6, pp. 1061-1079.

Polat, N., Önal M, Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Mutlu, S., and Kara, H. (2020). "Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanımında Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi." *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, Vol. 2, No. 2, pp. 55-59.

Pollio, J. (1968). "Applications of underwater photogrammetry." *Naval Oceanographic Office NSTL Station Ms.*

Raoult, V., David, P. A., Dupont, S. F., Mathewson, C. P., O'Neill, S. J., Powell, N. N., and Williamson, J. E. (2016). "GoPros™ as an underwater photogrammetry tool for citizen science." *PeerJ*, Vol. 4, pp. 1-18.

Rebikoff, D. (1972). "Precision underwater photomosaic techniques for archaeological mapping Interim experiment on the Bimini "Cyclopean" complex." *International Journal of Nautical Archaeology*, Vol. 1, No. 1, pp. 184-186.

Rossi, P., Ponti, M., Righi, S., Castagnetti, C., Simonini, R., Mancini, F., and Capra, A. (2021). "Needs and gaps in optical underwater technologies and methods for the investigation of marine animal forest 3D-structural complexity." *Frontiers in Marine Science*, Vol. 8, pp. 171.

Sarakinou, I., Papadimitriou, K., Georgoula, O., and Patias, P. (2016). "Underwater 3D modeling: Image enhancement and point cloud filtering." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 2.

Sardemann, H., Mulsow, C., and Maas, H. G. (2022). "Accuracy Analysis of an Oblique Underwater Laser Lightsheet Triangulation System." *PGF–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Vol. 90, No. 1, pp. 3-18.

Shortis, M. (2015). "Calibration techniques for accurate measurements by underwater camera systems." *Sensors*, Vol. 15, No. 12, pp. 30810-30826.

Shortis, M. (2019). "Camera calibration techniques for accurate measurement underwater." *3D recording and interpretation for maritime archaeology*, pp. 11-27.

Shortis, M. R., and Seager, J. W. (2014). "A practical target recognition system for close range photogrammetry." *The Photogrammetric Record*, Vol. 29, No. 147, pp. 337-355.

Shortis, M., Harvey, E., and Seager, J. (2007). "A review of the status and trends in underwater videometric measurement." In *Invited paper, SPIE Conference*, Vol. 6491, pp. 1-26.

Telem, G., and Filin, S. (2013). "Photogrammetric modeling of the relative orientation in underwater environments." *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 86, pp. 150-156.

Treibitz, T., Schechner, Y., Kunz, C., and Singh, H. (2011). "Flat refractive geometry." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 34, No. 1, p. 51-65.

Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., and Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal Of Engineering Science*, 7(3), 64-73.

Urbina-Barreto, I., Elise, S., Guilhaumon, F., Bruggemann, J. H., Pinel, R., Kulbicki, M., and Adjeroud, M. (2022). "Underwater photogrammetry reveals new links between coral reefscape traits and fishes that ensure key functions." *Ecosphere*, Vol. 13, No. 2, e3934.

Urbina-Barreto, I., Garnier, R., Elise, S., Pinel, R., Dumas, P., Mahamadaly, V., and Adjeroud, M. (2021). "Which method for which purpose? A comparison of line intercept transect and underwater photogrammetry methods for coral reef surveys." *Frontiers in Marine Science*, Vol. 8, pp. 577.

Van Damme, T. (2015). "Computer vision photogrammetry for underwater archaeological site recording in a low-visibility environment." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 40, No. 5, pp.231.

Ventura, D., Dubois, S. F., Bonifazi, A., Jona Lasinio, G., Seminara, M., Gravina, M. F., and Ardizzone, G. (2021). "Integration of close-range underwater photogrammetry with inspection and mesh processing software: a novel approach for quantifying ecological dynamics of temperate biogenic reefs." *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, Vol. 7, No. 2, pp. 169-186.

Vlachos, M., Berger, L., Mathelier, R., Agrafiotis, P., and Skarlatos, D. (2019). "Software comparison for underwater archaeological photogrammetric applications." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*.

Wheeler, R. E. M. (1966). "George F. Bass: Archaeology under Water." *Ancient Peoples and Places*. London: Thames and Hudson, 1966, *Antiquity*, Vol. 40, No. 160, pp. 317-318.

Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y., ve Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik rölöve çalışması ve 3boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.