

Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar

Fatıma Zeynep Kaya^{1,*}, Özgün Akçay¹, Emin Özgür Avşar¹, Umut Aydar¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale.

Özet

Fotoğrafın çekildiği konuma göre sınıflandırılmış yakın resim fotogrametrisi, mobil haritalama ve hava fotogrametrisi kategorilerine bir de su altı konumunda gerçekleştirilebilen su altı fotogrametrisi eklenmiştir. Yersel fotogrametri tekniklerinin, özellikle son çalışmalarda yer verilen Structure from Motion (SfM) olarak bilinen nesnelere hareketli kayıtlardan üç boyutlu verilerin üretilebildiği yöntem de yine su altı fotogrametrisinde kullanılabilir olmaktadır. Klasik anlamda gerçekleştirilen fotogrametri çalışmalarına mobil haritalama ile yeni bir perspektif kazandırılmış, böylece fotogrametrinin sabit değil hareketli platformlarla da veri elde ederek kullanabildiği görülmüştür. Aynı şekilde hava fotogrametrisi de oldukça eskiye dayanan bir tarihe sahip olmasına rağmen günümüzde geldiği nokta ile fotogrametri için yepyeni bir soluk olmuş ve elde edilen verilerin pratikliği ve doğruluğu, geçmişteki işlem yükünü azaltarak çok daha fazla çalışma alanlarının önünü açmıştır. Aynı zamanda hava fotogrametrisi, tarihteki kadar güç ulaşılabilmekten çıkmış ve ticari olarak bilinen insansız hava araçlarıyla da gerçekleştirilebilmesiyle geniş kitlelere ulaşma imkânı bulmuştur. Yeryüzünde çalışılan alanların analiz edildiği birçok yazılım programı da yine su altı fotogrametrik verileri için kullanılabilir olmaktadır. Tabii tüm bu çalışmaların iyileştirilerek geliştirildiği bir birikime dayalı olan çalışmalar, geçmişten günümüze su altı fotogrametrisi başlığında aktarılmış ve dalgiçlerden destek alınarak veri toplanmasından bugünkü İnsansız Su Altı Araçlarına (İSAA) kadar geçirilen aşamalar aktarılmıştır. Üç boyutlu yeniden oluşturma işlemi çok geniş disiplinler için kullanılabilir olup popülerleşmişken arka planda yer alan farklılıkları görebilme açısından bu yöntemde kullanılan sensörler hakkında da bilgiler verilmiş, sensörlerin güçlü olduğu ve zayıf kaldığı alanların bir kıyaslaması yapılmıştır. Özellikle bu sensörlerin su altındaki hareketleri incelenerek, kullanılacak sensörler için yapılacak çalışmaya uygunluğu konusunda karar verilebilir.

Anahtar Sözcükler

Su altı fotogrametrisi, fotogrametrik belgeleme, otonom su altı araçları, uzaktan kontrollü su altı aracı.

1. Görüntünün Alındığı Konuma Göre Fotogrametri ve Su Altı Fotogrametrisi

Fotogrametri alanında gerçekleştirilen güncel çalışmalar göz önüne alındığında bu çalışmaları fotoğrafın çekildiği konuma göre sınıflandırmak, bu araştırma çalışması için tercih sebebi olmuştur. Yaygın ve klasik sayılabilecek kullanımdan hareketle yakın resim fotogrametrisinden başlayarak, mobil fotogrametri ve hava fotogrametrisi olarak bu sınıflandırmaları devam ettirmek mümkündür.

Alkış (1988) çalışmasında yakın resim fotogrametrisinin Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS) tarafından uygun görülen yaklaşımını fotogrametrinin topoğrafyaya dayalı olmayan uygulamaları veya yersel fotogrametri şeklinde tanımlamaktadır. En kısa mesafenin mikrometre mertebelerinden veya desimetre düzeylerinden başlaması ve fotoğraf çekiminin cisme en fazla 200-300 metreye kadar olan mesafesinden gerçekleştirilmesi, bu çalışmaların yakın resim fotogrametrisinde değerlendirilmesinde etkindir.

Liu ve Huang (2016) çalışmasında verilen tanıma göre ise fotoğrafı alınacak objenin büyüklüğü ile fotoğraf konumu-obje arası mesafe 100 metreyi geçmiyorsa, bu tür çalışmalar yersel fotogrametrinin bir alt konusu olan yakın resim fotogrametrisi kapsamında değerlendirilmektedir. Ayrıca yakın resim fotogrametrisi iki boyutlu sayısal görüntülerden üç boyutlu koordinatların elde edilmesinde tercih edilen hızlı, yüksek doğruluklu, güvenilir, kullanışlı ve ekonomik bir çözümdür. Aynı zamanda bu yaklaşım, sıvı hal fiziği deneylerinde, su altı arkeolojik çalışmalarında, çelik kirişlerin termal gözlemlenmesinde de etkin olarak kullanılma olanağı sağlamaktadır. Liu ve Huang (2016), çalışmalarında yersel fotogrametriden Sayısal Arazi Modeli oluşturarak heyelan tespitini aktarmışlardır.

Diğer bir yaklaşım da Lerma vd. (2009) çalışmasında önerilen İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanarak yakın resim fotogrametrisi çalışmalarının gerçekleştirilmesidir. Görüntüsü alınacak obje ile İHA arası mesafenin en fazla 200 metre olması kaydıyla kameraların yönlendirilebilirliğini savunmaktadırlar. Fakat, güncel olmayan fotogrametri çalışmalarında metrik kameraların ve fotogrametrik tarayıcıların (analog film örnekleme için) kullanılıyordu. Bu da kalibrasyonun da ayrı bir hesaplama olarak gerçekleştirilmeyi zorunlu kılıyordu. Günümüzde ise yersel fotogrametri, off-the-shelf de denilen satışa hazır kamera ve tarayıcı sistemler kullanılabilir ve uygun bir şekilde kalibrasyonunun yapılmış olması veya olmaması önemli olmaksızın kalibre edilebilir.

Mobil haritalama, 1980'li yılların sonları ile 1990'lı yılların başlarında Ohio State University'nin yersel konuma dayalı mobil haritalama sistemlerini geliştirmesiyle fotogrametri terminolojisinde yerini almaya başlayan bir kavram olmuştur. GPS-Van olarak adlandırdıkları bu sistem, yalnızca kod içeren bir Global Navigation Satellite System (GNSS)/Küresel Navigasyon Uydu Sistemi, iki sayısal CCD kamera, iki renkli video kamerası ve birkaç adet konum tahmini sensörü (iki jiroskop ve öndeki her tekerlek için mesafe ölçme ünitesi) içermekteydi. Esasında bir mobil haritalama sistemi üç temel bileşenden meydana gelmekteydi: haritalama için gereken sensörler, yersel konum referansı için gereken konumlandırma ve navigasyon ünitesi ve bir zaman referans ünitesi. Bir araba, bir gemi veya bir hava aracı gibi

* Sorumlu Yazar: Tel: (0286) 218 00 18 - 2613

E-posta: zeynep.kaya@comu.edu.tr

hareketli bir platforma yerleştirilen görüntü sensörleri kullanılarak bu platformlar çevrede yer alan bilgileri iki veya üç boyutlu görüntü olarak kaydetme özelliğine sahip olmaktadır. Ana görüntüleme ünitesi olarak LiDAR (Light Detection and Ranging) kullanılan mobil haritalama sistemleri, ki mobil lazer tarama sistemleri olarak da bilinir, en son geliştirilen yöntemdir. LiDAR'a dayalı mobil haritalama sistemleri, diğer bir deyişle sensör ve hedef obje arasındaki mesafenin lazer ışınları kullanılarak ölçülmesine dayalı olan haritalama sistemleri klasik veri elde etme çalışmalarına kıyasla üstün sayıda yüksek doğruluklu veri sağlar (Puente vd, 2013)

Asri vd. (2013) çalışmasında, mobil haritalamada harita yapım sistemi ile harita konumlandırmaya yarayan sistemlerin maliyetinin yüksekliğinden bahsedilmiştir. Ayrıca, harita konumlandırma sisteminde referanslanan ve kullanılan koordinat sistemi eksenlerinin dönüklüğünün belirlenmesinin doğruluğuna ilişkin problemlere yer verilmiştir. Birkaç temel diğer problemin ise görüntünün alındığı nokta ile görüntüsü alınan hedef arasındaki fotogrametrik yönelmenin herhangi bir kontrol noktasına ihtiyaç olmaksızın gerçekleştirilmesi, bu haritalama metodu için gerekli olduğu öngörülen sistemlerin geliştirilerek maliyette azalmaya gidilmesi ve mobil haritalamada eşzamanlı konum bilgisinin sağlanması olduğu görülmektedir. Bahsedilen temel problemlere, çalışmalarında GPS kullanımı ve dış yönelme parametrelerinin bilinmesi, daha ekonomik sensörlerin kullanılması ve ekonomik olmasından ileri gelen doğruluk kaybının minimizasyonu ve sensörlerin bilgisayar marifetiyle anlık konum bilgisini elde etmek olarak çözüm yaklaşımı getirmişlerdir.

Hava fotoğrafları, fotogrametri çalışmalarında harita oluşturmayı sağlayan en temel veri kaynaklarından biridir. Fotoğraf, veri elde etme süreçlerinin bir sonuç ürünüdür. Hava fotoğraflarının kalitesini mercek sisteminin tasarımı ve kalitesi, kameranın yapısı, fotoğrafik ürün, geliştirme süreçleri ve fotoğraf çekimi süresince hava koşulları ile güneş açısı belirler. Genel olarak hava fotoğrafları kamera ekseninin dönüklüğüne, kameranın odak uzaklığına ve emülsiyon türüne göre sınıflandırılabilir (Schenk, 2005). İnsansız Hava Aracı verilerini kullanarak gerçekleştirilen Akçay (2015) çalışmasında, hava fotoğraflarından üretilen Sayısal Yükseklik Modeli ve ortofoto gibi ürünlerin, heyelan hareketinin tespitinde geniş çaplı bir arazi çalışması yerine kullanılabilir sonuç ürünleri öncelikli hale geldiğini belirtmektedir. Stereoskopik hava fotoğrafları üç boyutlu kapsamı oluşturan birçok düşey fotoğrafın üst üste bindirilmesiyle oluşur. Diğer bir yaklaşım ise Grip vd. (2000)'in önerisi, görüntü çiftinin çözünürlüğünün kameranın odak uzaklığına, yeryüzünden uçuş mesafesi yüksekliğine, film işleme ve kamera sisteminin kalitesine bağlı olduğu şeklindedir. Stereoskopik değerlendirme, şekil, tonu, doku ve renkler gibi yeryüzü şekillerine ait özelliklerin yorumlanmasına olanak sağlar.

Geçmiş yıllarda daha çok askeri faaliyetlerde yer verilen insansız hava araçları kullanılarak elde edilen hava fotoğrafları, Remondino vd. (2011) çalışmasında belirtildiği gibi ilk olarak Przybilla ve Wester-Ebbinghaus tarafından 1979 yılında geomatik alanında fotogrametri uygulamaları amacıyla kullanılmıştır. Ve zaman geçtikçe, İHA'ların geomatik çalışmalarda kullanılabilirliği artmıştır. Çünkü İHA'lar, klasik insanlı hava araçlarına oranla düşük maliyetli ve çeşitli türlerde veri temin edilebilen bir alternatif haline gelmiştir.

Son birkaç yılda ekonomik, hızlı ve kolay işlenebilir olup da detaylı ve hassas doğruluğa sahip üç boyutlu haritalama ürünlerine duyulan ihtiyaç, su altı arkeolojik alan belgeleme çalışmalarında dijital fotogrametri ve görüntüye dayalı tekniklerin uygulanmasına liderlik etmiştir (Balletti, 2015). Birtakım deneme çalışmaları, su altı karakteristiğinin üç boyutlu modellenmesinde ticari kameralar ve otomatik yollarla verilerin işlenebildiği özel yazılımların kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Kalibrasyon ve ölçmeye olan bu yaklaşım; arkeolojide hiçbir hasara yol açmayan, güçlü ve erişilebilir bir yöntem olmasından ötürü dünya çapında kabul görmüştür. Örnek vermek gerekirse, sahada, kontrol edilebilirliği açısından, özellikleri eşleme yöntemi en önemli avantajlardan biridir.

Batığın açık denizdeki karanlık, düşük sıcaklık değerleri ve düşük oksijen oranı gibi faktörlerle çevrilmiş ortamda kalması ve böylece korunmasının sağlanması sebebiyle su altı mecralar arkeoloğlara olağanüstü olanaklar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, derindeki batıkların yüzey katmanları sudaki trollerin artışı sebebiyle tehlikeye girmiştir ve haliyle de okunabilirliği bozulmaktadır. Gerçekten de trol ağlarının 1000 metre derinliğe kadar ulaşabilmesinden ötürü yirmi yıldır söylene gelen trol ağlarından batıkların korunabileceği hakkındaki görüşler, artık geçerliliğini yitirmiştir. Bu sebeple, bu batıkların birçoğu hakkında araştırma yapılamadan bozulmaya uğramaktadır. Geniş kapsamlı ve detaylıca üretilen üç boyutlu batık kayıtları, günden güne önem kazanmaktadır. Bu batık alanları hiçbir şekilde ilk olacak şekilde arkeoloğlardan veya halk tarafından tecrübe edilemeyeceği için arkeolojik alanlara erişimin sağlanabileceği doğru ve güvenilir bir üç boyutlu ölçme sunmak son derece önemlidir (Drap (a), 2012).

Mevcut yöntemlerle kıyaslandığında fotogrametriyi su altı ölçmelerinde öne çıkaran özelliği, özellikle ekipman ve veri toplama konularında pratik olması sebebiyledir. Ayrıca elde edilebilecek, nesnelerin üç boyutlu özelliklerinin doğruluğu, ölçme verisi sağlanan alanların üç boyutlu modellenmesi gibi sonuç odaklı çeşitlilik de bir diğer avantajdır. Üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü topografik yapıların oluşturulmasında Structure from Motion adı verilen; nesnelerin hareketinden yapı oluşturmaya uygun, düşük maliyetli ve hızlı bir fotogrametri yöntemi kullanılmaktadır. Teague vd. (2015), çalışmalarında SfM'lerden üretilen Sayısal Yükseklik Modelinin, ArcGIS gibi Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı yazılım araçlarında analize açık olduğunu ifade etmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar göstermiştir ki GPS'in kullanılabilir olmadığı su altı fotogrametri çalışmalarında, hatta kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaksızın değişen kamera konumları ve dönüklükler değerlendirilebilir, bunun da temel sebebi SfM metodunun ölçülen alanın geometrisiyle olan ilişkisine bağlıdır.

2. Su Altı Fotogrametrisinde Kısıtlar

Austin ve Halikas (1976), sudaki tuzluluk oranı, suyun sıcaklığı ve basıncın enterpolasyonu ile dalga boyunun enterpolasyonu ve ekstrapolasyonu, su altı ortamında çalışmak için mecburi olarak bilinmesi gereken parametreler olduğunu göstermektedir, çünkü 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, ki bu da 1.033 N/cm²'lik bir değişime tekabül eder. Deniz suyunun ışımsal özellikleri oldukça değişkendir ve ışığın dağılımını düzenler, dolayısıyla ışımsal ölçmeleri içeren tüm disiplinleri etkilemektedir. Işımsal özellikler genel olarak iki başlıkta incelenebilir: birincisi ortama bağlı olan doğal özelliklerden emilim katsayısı ve hacimsel saçılmadır; ikincisi ise, parlaklık yansımaları, sönmüleme katsayıları gibi ışığın yayıldığı alana bağlı olarak görülebilen ışımsal özelliklerdir. İkinci grup için ışık parçacıklarının (fotonların) uzayda tüm yönlerde dağılması örnek olarak gösterilebilir. Menna (2018), çalışmasında yer verdiği üzere 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. Yeryüzüne bağlı olarak güneşin yüksekliği, günün hangi vakti olduğu, mevsim ve deniz suyunun koşulları suyun yansıtılma veya soğurulma miktarını etkilemektedir. Agrafiotis (2018)'in tanımladığı üzere Şekil 1'de 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 1: Sığ suda öğle vakti fotoğrafı çekilmiş bir kaya örneği (solda) ve öğleden sonra çekilen aynı görüntünün fotoğrafı (sağda). Işık enerjisinin tutulma biçimi soldaki görüntüde görülebilmektedir (Menna, 2018).

Işık, durgun deniz suyuna geldiğinde su yansıtıcı bir ayna görevi görürken dalgalı deniz suyuna gelen ışık, su tarafından daha çok emilir. Işık ışınları dalgalı yüzeylerde kostikler oluşturarak kırılır ki bu da 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)'de bahsedildiği üzere 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 savunmaktadır. Suda asılı olan fitoplankton, organik maddeler, kirlilik gibi çeşitli parçacıklar suyun bulanmasına sebep olur ve ışık suda bu sebeplerden ötürü saçılır. Saçılım veya dağınık yansımaya, ışığın kendi doğrultusundan rastgele bir şekilde sapmasından dolayı ortaya çıkar. Saçılma; görünüş kalitesini sınırlandırır, kontrastı düşürür ve buğulu görüntülere sebebiyet verir.

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 ötürü 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 ötürü 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 olmasını gerektirmektedir. Bazı olağandışı durumlarda dalgıç ve kamera

için yeterli alan olmayabilir. Bunun üstesinden gelebilmek için, ya balık gözü olarak bilinen mercekler ya da sudan havaya veya havadan suya gibi iki ortamlı fotogrametrik yaklaşımlar uygulanmaktadır. Sığ sulardaki kıyı alanlarının bir diğer problemleri de dalgalardan veya sürüklenen maddelerden kaynaklanan bulanıklıklar olabilmektedir.

3. Geçmişten Günümüze Su Altı Fotogrametrisi ve Uygulamalar

3.1. Geçmişten Günümüze Su Altı Fotogrametrisi

Aqua Lung adı verilen basınç regülatörünün 50'li yıllarda icat edilmesi, dalgıçlara su altı arkeolojik alanlara ulaşma ve batıkları inceleme imkânı vermiştir. Jacques-Yves Cousteau'nun Büyük Congloué adı verilen kazısının büyük bir dönüm noktası oluşturduğu 50'li yıllardaki ilk denemeler, bilimsel açıdan giderilmesi gereken birtakım eksiklikler taşıyordu. 60'lı yıllarda ise araştırmacılar, yersel yöntemlerle elde edilen verilerin su altında da aynı yöntemlerle elde edilip edilemediğinden emin olabilmek için dalış yapmayı uygun gördüler. Öncelikle klasik arkeolog yaklaşımıyla cisim yerinden oynatmadan ve ona zarar vermeden kazarak net enkazı elde etmeye çalıştılar. Ardından ise, yersel ölçmelerde kullanılan optik mekanik aletleri su altında kullanmayı denediler fakat bu, yatay düzlemler ve düşey kesitler için beklenen sonucu vermiyordu. Her ne kadar işaret levhaları yerleştirilse de bu işaretlerin konumlarının belirlenmesi, istenilen bir şekilde gerçekleştirilemedi (Drap (c), 2012).

Buradan hareketle arkeolojik çalışmalar temelinde yer alan ilk resmî su altı fotogrametrik çalışma denemeleri, 60'lı yıllarda görülmektedir denilebilir. Fotogrametri ve akustik ölçmelere olan ilgi, o yıllardan itibaren durmadan artmıştır.

Su altında fotogrametrik denemelerinin ardından ilk çalışma, Fransa'nın Marsilya şehrinde bir su altı batığında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmaların anlamlı sonuçlar verebilmesi için gerekli olan stereoskopik çekim aşamaları, donanımlı ekipmanlar gerektirmekteydi. 1964 yılında Amerika Pensilvanya Üniversitesi tarafından su altı arkeolojisi için tasarlanmış ve Şekil 2'de görülebilen Ashera isimli bir denizaltı, bu çalışmada kullanılmıştır. Aslında bu denizaltı aracının ilk kullanımı Yassı Ada'da 42 metre derinlikteki bir batığın ölçülmesinde olmuştur (DK, 2003).



Şekil 2: Asherah denizaltısı (From Shipwreck, DK Eyewitness book)

Ashera denizaltı aracına iki tane ve senkronize çift resim kamerası yerleştirilmiş, ayrıca Marsilya'da ölçme işlemini gerçekleştirecek dalgıç ekibine de yardımcı olması için Şekil 3'te bir örneği gösterilen metal yapıda sabit ve kaydırılabilen ekipmanlar tahsis edilmişti. Bu ekipmanlar, çekim yapacak dalgıçları yönlendirmek üzere alana yerleştirilmişti çünkü stereoskopik çekimler zorlu fiziksel şartlar altında gerçekleştiriliyordu: çekimler fizyolojiye, kişiye ve stereoskopik koşullara bağlı olarak gerçekleştirilmekteydi. Bu stereoskopik koşullar için optik eksenlerin paralellığı ve dönüklükten (optik eksenlerin dönüklüğü) bahsedilebilir.



Şekil 3: Dramont batığına fotogrametrik olarak çalışabilmek için kullanılan metal çerçeve

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 olmaktaydı, çünkü kullanılan ekipmanın taşınması ve ekipmanı kullanacak olan çalışanın son derece nitelikli olması gerekmektedir. Öte yandan su altı ortamındaki su bulanıklığı, suda asılı partiküller gibi optik mekanizma için sorun teşkil edebilecek bir ortamın spesifik kısıtlamaları giderilmediği sürece, yüksek doğruluklu veri elde edilememekte ve hassas çalışmalar yapılamamaktaydı (Drap, 2012.(1)).

Seksenli yılların sonuna doğru, maliyetli bir yöntem olmasından ötürü fotogrametri teknikleri saf dışı edilerek farklı bir ölçme yöntemi benimsenmeye çalışıldı. Bu yöntemde, video kayıtları veya resimler kullanılarak ortalama 50 santimetre doğrulukta verilerle ölçmeler sınırlandırıldı. Doksanlı yılların başında, derinde yer alan bir batık olan Plage d'Arles 4'ün incelenmesi için stereofotogrametri tekrar devreye girdive yarı-metrik orta formatlı kameralar kullanıldı. Bu süreç 4 günlük bir çalışma gerektirmişti. Oysaki 1664 yılında Toulon'un doğusundaki La Lune batığı için verilerin toplanması 1 gün yeterliydi. 1996'nın sonlarına doğru, son dönemin teknikleri 64 metre derinlikteki Sud-Caveaux 1 batığı ölçmeleri için mükemmelleştirildi.

Bir süreliğine duraklama dönemine giren su altında fotogrametri çalışmaları, Etrüsklerin 61 metre derinlikte yer alan Grand Ribaud F batığında 2000 ile 2002 yılları arasında yeniden başlatıldı. Ayrıca 1990'lı yıllardan itibaren gelişen bilgisayar mikroişlemcileri ve fotogrametri yazılımları, ki fotogrametri yazılımlarında dijital kameraların kullanılmasının sağladığı katkıyla stereoskopi için gereken kısıtlamalardan bağımsız hâle gelmişti, fotogrametrinin su altında kullanımının popüler bir uygulama olmasını ve doğruluk derecesinin artırmasını sağladı. Grand Ribaud F batığındaki çalışmalar; bir yandan demet dengelemesine dayanan ancak bağımsız stereoskopik çiftlere dayalı olmayan fotoğraf sistemlerini basitleştirirken diğer bir yandan da dijital fotogrametri araçlarının ve uzmanlarının üç boyutlu veri üretme üzerinde çalışabileceğini ortaya çıkarmıştır. Daha önceden, Etrüsk batığı fotoğrafları hem dalgıçlar hem de denizaltılar tarafından çekilmişti çünkü çok da derin olmayan derinlik değeri bu iki yöntem için de uygundu.

Son gelişmeler ışığında ise, nitelikli bir ekip 2000 metre derinliklerde bile milimetre hassasiyetinde optik ölçmeler gerçekleştirebilir ve ölçeklendirme veya mutlak yönelme gibi herhangi bir fiziksel müdahalede bulunmaksızın su altından veri toplayabilir. (Drap vd (b), 2015).

Su altı görüntüleme için kullanılan birbirinden farklı birçok su altı aracı türü vardır. Blidberg (2011) çalışmasındaki yaklaşımında kategorileme yöntemlerinden biri de iki sınıftan birine dahil olan araçlar olarak gerçekleştirilmektedir: insanlı veya insansız sistemler. Bu sistemler de kabaca iki alt başlıkta incelenebilir: askeri operasyonlar için kullanılan veya askeri operasyon için değil, su altı araştırmalarının desteklediği ve değerlendirildiği çalışmalar. Dünya genelindeki donanmaların bir kısmı, birbirinden farklı türde pek çok denizaltı kullanarak çalışmalarını tamamlamışlardır. Amerika'dan Alvin, Fransa'dan Epaulard, Rusya'dan Mir, ve Japonya'dan Shinkai 6500 gibi aşına olunan küçük denizaltılar su kolonu ve okyanus dibi araştırmalarına ve bilgi edinmelerine izin verilen birer ülke teşebbüsleridir.

Blidberg (2011), insansız denizaltıların birkaç alt sınıfa daha ayrılabilirdiğini önermiştir. En basit ve en kolay tanımlanan denizaltılar, bir geminin yedeğine takılıp kullanılanlardır. Aracın üzerine takılan birçok sensör sayesinde tek bir platform şeklinde hareket edebilmektedir. Bir diğer denizaltı sistemi de Uzaktan Kontrollü Su Altı Aracıdır (Remotely Operated Vehicle – ROV). Uzaktan Kontrol Edilebilen Su Altı Araçları, bir kablo vasıtasıyla bağlantı kurulabilen bir sistemdir. Bu kablo, araca güç ve iletişim kazandırır ve uzaktan bir operatör yardımıyla kontrol edilebilir. İnsansız denizaltılara üçüncü bir sınıf da İnsansız ve Kablo Bağlantısı Olmayan Araçlar olarak gösterilebilir (Unmanned Untethered Vehicle – UUV). Kablo bağlantısı olmayan bu araçlar kendi sistemlerinde gücü içermektedir fakat yine de bir operatör aracılığıyla bir tür iletişim bağlantısı kullanılarak kontrol edilmektedir. Otonom su altı aracı (Autonomous Underwater Vehicle – AUV) ise önceden tasarlanmış bir veri toplama programını kendi gücü ve kendi kontrolünde

gerçekleştirir. UUV ile AUV arasındaki en temel fark, otonom özellikte olanların veri toplama sürecinde herhangi bir fiziksel bağlantıya ihtiyaç duyulmaksızın görevini yerine getirmesiyken insansız ve kablo bağlantısız araçlar görevlerini yerine getirmek için yeterli düzeyde bir bağlantıya gereksinim duyar.

Massot-Campos (2015), son yıllarda insan-makine etkileşiminin, haritalama ve filmler gibi birbirinden farklı alanlarda 3 boyutlu görüntüleme sensörlerinin giderek popülerleşmeye başladığından bahsetmiştir. Bu sistemlerin 3 boyutlu metrik bilgiyi elde etmesinin ardından işlenmesi gereklidir çünkü üç boyutlu bilginin ham hali sunulmaktadır. Bu iş akışı aslında üç boyutlu yeniden oluşturma işlemi olarak da bilinmektedir ki bu da tıbbi teşhislerden fotogrametriye, kalıtsal bilgilerden veya makine detaylarından ve üretime kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Bilim ve teknolojideki yeni gelişmelerin sayesinde derin deniz alanlarını kapsayan büyük liman alanları insanlı ve insansız araçlar için ulaşılabilir hale gelmiştir; bu da su altındaki üç boyutlu yeniden oluşturma işlemlerinin verilerine erişilebilir özellik kazandırmaktadır. Tablo 1’de, su altı verilerinin toplanmasında kullanılabilir olan popüler sensörler güçlü olduğu ve zayıf kaldığı alanlarda bilgi verilmektedir:

Tablo 1: Su altı verilerinin toplanmasında kullanılabilir olan sensörler ve güçlü olduğu ve zayıf kaldığı noktalar (Massot-Campos vd, 2015)

Veri Elde Etme Yöntemi	Güçlü Olduğu Konular	Zayıf Kaldığı Alanlar
MBS Multibeam Sonar (Çok Işınlı Deniz Radarı)	Kolaylıkla kullanılabilir, Geniş kapsama alanı ve görüş mesafesi vardır, Su bulanıklığından etkilenmez	Pahalıdır, En yakın mesafe değeri hesaplar için olması gerekenden yüksek kalır, Düşük çözünürlüklüdür
SBS Single Beam Sonar (Tek Işınlı Deniz Radarı)	Kolaylıkla kullanılabilir, Geniş görüş alanı vardır, Su bulanıklığından etkilenmez	Pahalıdır, Yankı yapar, Düşük çözünürlüklüdür
SSS Side Scan Sonar (Kenar Tarama Deniz Radarı)	Kaliteli veri elde etme oranı yüksektir, Suyun bulanıklığından etkilenmez, Geniş görüş alanı vardır.	Pahalıdır, Sabit hıza gereksinimi vardır, Boyutları bilinmez
IS Imaging Sonar (Görüntü Deniz Radarı)	Ortalamadan geniş kadar görüş mesafesi vardır, Suyun bulanıklığından etkilenmez	Pahalıdır, Boyutları bilinmez
LiDAR Light Detection and Ranging (Işıklı Radar)	Su altına uygun değildir	İlk 15 metreyle sınırlıdır, Güvenilirlik konusunda kısıtlıdır
LLS Laser Line Scanning (Lazer Yönünde Tarama)	Ortalama kalitede veri elde etme oranı vardır, Ortalama görüş mesafesi sağlar; Saçılmanın olduğu sularda yüksek performans gösterir	Pahalıdır, Güvenilirlik konusunda kısıtlıdır
SfM Structure from Motion (Hareketli Nesnelere Görüntü Oluşturma)	Kullanışlı ve ekonomiktir; İyi tanımlanmış hedeflerde yüksek doğruluk sağlar, Yakın mesafede çalışır	Hesap yükü fazladır, Verileri seyrek seyrek elde eder, Sadece dokusu olan objelerde çalışır, Ölçeği bilinmez
SV Stereo Vision (Çift Görüş)	Kullanışlı ve ekonomiktir; İyi tanımlanmış hedeflerde yüksek doğruluk sağlar, Yakın mesafede çalışır	Hesap yükü fazladır, Verileri seyrek seyrek elde eder, Verileri düşük doğrulukla elde eder
PhS Photometric Studio (Işığı Ölçen Ortam)	Kullanışlı ve ekonomiktir; Yakın mesafede çalışır	Düz yüzeyler için kısıtlı çalışır, Sabit bir konumda çalışır
VW-SL	Yüksek doğruluklu veri elde edilir, Yakın mesafede çalışır	Hesap yükü fazladır, Gölge ve emilim olan yerlerde veri kaybı yaşanır, Sabit bir konumda çalışır
CW-SL Continuous Wave Structured Light	Yüksek doğruluklu veri elde edilir, Ortalama mesafede çalışır	Hesap yükü fazladır, Gölge ve emilim olan yerlerde veri kaybı yaşanır, Kaynak lazer olduğunda güvenilirlik konusunda sınırlanır

Gawlik (2015), araştırma tezinde su altı ölçmelerinde genel olarak kullanılan iki navigasyon sistemi olduğunu öne sürmüştür: Uzun Anahat (Long BaseLine – LBL) ve Ultra Kısa Anahat (Ultra Short Baseline). Uzun anahat sistemi, deniz yatağına yerleştirilen en az üç alıcı sistem ile mesafe ölçmesi gerçekleştiren akustik temelli bir sistemdir. Uzaktan kontrol edilen bir su altı aracındaki operatör sorgu yaptığında bu alıcılara akustik bir sinyal göndermiş olur. Sonra da alıcı sistem bir cevap sinyali gönderir ve veri akışı sağlanır. Uzaktan kontrol edilen su altı aracının konumu En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemle doğruluğu 1 metreden daha düşük olan konum hassasiyeti elde edilir. Bununla birlikte, ağır ideal geometrisinin sağlanması, Uzun ana hat sistemi çalışırken deniz yüzeyinde akustik izlerin olmadığı uzun mesafelerin olduğu koşullar gibi birkaç şart sağlanırsa doğruluk yaklaşık 1 cm hassasiyetle belirlenebilir.

3.2. Güncel Uygulama Örnekleri

Mercan resiflerinin su altı fotogrametrisi kullanılarak üç boyutlu modellemesi çalışmasında su altı fotogrametrisinde Köseoğlu ve Kocaman'ın (2018) belirttikleri sorunlardan biri olan kırılma etkisi, renklerde değişime sebep olmuş ve bu etkiyi gidermek amacıyla tüm renkli resimler tek seferde kalibre edilmemiş, her bir bant ayrı olarak kalibre edilmiştir. Böylece, fotoğraflar sonradan birleştirilerek problemin ne kadar giderildiği analiz edilmiş ve yöntem sonuçlarına dayanarak yaklaşık 100 metre karelik bir alan için üç boyutlu modelleme yapılmış, ortomozaik oluşturulmuştur.

Güncel bir çalışma da sayısal kamera ve renk düzeltmesi yöntemleri kullanılarak ekonomik su altı haritalama teknikleri üzerine gerçekleştirilmiştir. Chang vd. (2019), Structure from Motion (nesnelerin hareketli kayıtları) tekniği kullanarak iki boyutlu ve üç boyutlu veriler elde ederek su altı haritası oluşturmuşlardır. Zaman senkronizasyonunu sağlamak için görüntüler ve görüntülerin konumlarının eşleştirildiği bir coğrafi etiket aracı geliştirmişlerdir. SfM algoritmasının kullanıldığı pek çok su altı çalışma olmasına karşın önerdikleri yöntemde coğrafi etiketlemenin, görüntü işlemenin, su altında kamera görüntülerinden elde edilen resimlerin ortorektifiye edilerek mozaik resimlerinin ve üç boyutlu nokta bulutunun elde edilmesi amacıyla renk düzeltmesinin yapıldığı pek çok yöntem bir arada aktarılmıştır.

Ruiz vd. (2018), çok kaynaklı fotogrametri kullanılarak, örneğin GoPro5 kameralarıyla gerçekleştirilebilen çalışmalar gibi, Erken Bronz Çağı'ndan Osmanlı'nın son dönemlerine kadar gözlem yapılabilen Ropotomo arkeolojik alanında, görüş mesafesinin yarım metreye kadar düştüğü zorlu su altı koşullarında bile çalışmalar sürdürülebilmekte olduğunu ortaya koymuştur. Yaptıkları çalışmada, ışığın düşük olduğu zayıf su altı koşullarında bile fotogrametri çalışmalarının ana yöntem olduğunu savunmuşlardır.

Yüksek çözünürlüklü optik ve radyometrik kızılötesi kameraların yer aldığı İSAA kullanılarak su altında 364 ayrı termal noktanın dağılımını tespit edilmiştir. Walter vd. (2018), bu çalışmalarında ayrıca su altı kameraları kullanarak 20 metrelik bir alana yayılan iki büyük hidrotermal deliği keşfetmişlerdir, ki bu hidrotermal deliklerden çıkan kabarcıklar deniz yüzeyinde ufak patlamalara sebep olmaktadır.

Ortalama derinlikte yer alan bir gemi batığının gözlemlenmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada Aragon vd. (2017); İspanya'nın doğu kıyısında yer alan batığın yüksek çözünürlüklü bir haritasının elde edilmesiyle sonuçlanan fotogrametri ve ortofoto süreçlerini aktarmaktadır ve kısa zamanda sonuca ulaşılmıştır. Ayrıca batığın dijital ortamda da fotogrametrik bir temsili oluşturmak için gerçekleştirilen uygulama adımları da bu çalışmada yer almaktadır.

Costa vd. (2018) yaptığı çalışmada, su altı belgeleme ile ilgili gerçekleştirilen ölçme verilerinde çeşitlilikler oluşturmuş ve bu çeşitlilik sonuçlarını kıyaslamışlardır. Bu çeşitlilik için koşullar, 5 metre derinlikteki kumlu bir deniz yüzeyinde 5 metre yüksekliğindeki mermer sütunların kullanıldığı bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uzaktan kontrol edilebilen su altı aracı kullanılmış ve bu araca yerleştirilen GoPro Hero4 kameralarının kullanılmasıyla elde edilen görüntüler ve videolar kullanılmıştır. Elde edilen üç boyutlu geometrik modelin doğruluğu, Nikon D610 kamerayla elde edilen fotogrametrik sonuç ürünleriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca bazı hedef noktalar trilaterasyon yöntemiyle de ölçülmüş, farklı görüntüler de aynı referans sisteminde oluşturulmuş, böylece nokta bulutlarının kıyaslanabileceği bir veri seti elde edilmiştir.

Kaynaklar

- Agrafiotis P., Skarlatos D., Forbes T., Poullis C., Skamantzari M., Georgopoulos A., (2018), *Underwater photogrammetry in vershallow waters: Main challenges and caustics effect removal*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII (2), 15-16.
- Akçay O., (2015), *Landslide fissure inference assessment by ANFIS and logistic regression using UAS-based photogrammetry*, ISPRS International Journal of Geo-Information, doi: 10.3390/ijgi4042131
- Alkış, A., (1988), *Yakın Resim Fotogrametrisi ve Türkiye’de Uygulama Olanakları*, Harita Dergisi.
- Aragon E., Munar S., Rodriguez J., Yamafune K., (2018), *Underwater photogrammetric monitoring techniques for mid-depth shipwrecks*, Journal of Cultural Heritage (34), 255.
- Asri İ., Çorumluoğlu Ö., (2013), *Fotogrametrik mobil harita yapım sistemi çalışması*, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB’2013) İçinde, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2.
- Austin R. W., Halikas G., (1976), *The index of refraction of seawater*, Teknik Rapor, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri.
- Balletti C., Beltrame C., Costa E., Guerra F., Vernier P., (2015), *Underwater photogrammetry and 3d reconstruction of marble cargos shipwreck*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W5, 7.
- Blidberg, D. R., (2001), *The development of autonomous underwater vehicles (AUV); A brief Summary*, Autonomous Undersea Systems Institute, Lee New Hampshire, USA.
- Chang A., Jung J., Um D., Yeom J., Hanselmann F., (2019), *Cost-effective framework for rapid underwater mapping with digital camera and color correction method*, KSCE Journal of Civil Engineering 23(4), 1776.
- Costa E., Guerra F., Vernier P., (2018), *Self-assembled ROV and photogrammetric surveys with low cost techniques*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII (2), 275.
- DK, (2003), *Shipwreck*, Dorling Kindersley LTD Publishing.
- Drap P. (a), Da Silva D. (Ed.), (2012), *Underwater Photogrammetry for Archaeology*, InTech Publisher, <https://www.intechopen.com/books/special-applications-of-photogrammetry/underwater-photogrammetry-for-archaeology> [Erişim 7 Nisan 2019].
- Drap P. (b), Seinturier J., Hijazi B., Merad D., Boi J. M., Chemisky B., Seguin E., Long L., (2015), *The ROV 3D Project: deep-sea underwater survey using photogrammetry: Applications for underwater archaeology*, ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, 8(4), 3-6.
- Drap P. (c), (2012), *Archéologie sous-marine: relé et realite virtuelle pour l’étude de sites inaccessibles*, Archeologia e calcolatori, Supplemento 3, 429-430.
- Gawlik N., (2013), *3D modeling of underwater archaeological artefacts*, Yüksek Lisans Tezi, Norwegian University, Norveç.
- Grip W. M., Grip R. W., Morrison R. D., (2000), *Application of aerial photography and photogrammetry in environmental forensic investigations*, Journal of Environmental Forensics 2000(1), 122-123.
- Guerra J., Heinevetter R., Morris T., Poore K., Waschura A., (2014), *Proteus: Mini underwater remotely operated vehicle*, Mechanical Engineering Sensor Theses, 6
- Köseoğlu F., Kocaman S., (2018), *Mercan resiflerinin sualtı fotogrametrisi ile 3 boyutlu modellenmesi*, VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 1.
- Lerma J. L., Navarro S., Cabrelles M., Villaverde V., (2009), *Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo as a case study*, Journal of Archaeological 37 (2010), 500.
- Liu W. C., Huang W. C., (2016), *Close range digital photogrammetry applied to topography and landslide measurements*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI (B5), 875.
- Massot-Campos M., Oliver-Codina G., (2015), *Optical sensors and methods for underwater 3D reconstruction*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4721784/> [Erişim 7 Nisan 2019].
-

- Menna F., Nocerino E., Remondino F., (2018), *Photogrammetric Modelling of Submerged Structures: Influence of Underwater Environment and Lens Ports on Three-Dimensional (3D) Measurements*, Latest Developments in Reality-Based 3D Surveying and Modelling'in İçinde, Basel, İsviçre, 282-283.
- Pacheco-Ruiz R., Adams J., Pedrotti F., (2018), *4D modelling of low visibility Underwater Archaeological excavations using multi-source photogrammetry in the Bulgarian Black Sea*, Journal of Archaeological Science, 100(2018), 120.
- Puente I., Gonzalez-Jorge H., MARTINEZ-Sanchez J., Arias P., (2013), *Review of mobile mapping and surveying technologies*, Measurement 46(7), 2128.
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D., (2011), *AUV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives-*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-1/C22, 25.
- Schenk T., (2005), *Introduction to photogrammetry*, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 41.
- Teague J., Scott T., (2017), *Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Submerged Objects in Shallow Environments by ROV and Underwater GPS*, Journal of Marine Science Research and Technology, [https://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/underwater-photogrammetry-and-3d-reconstruction-of-submerged-objects-in-shallow-environments-by-rov-and-underwater-gps\(b310c641-5445-45d7-ba4e-53f5e10a87df\).html](https://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/underwater-photogrammetry-and-3d-reconstruction-of-submerged-objects-in-shallow-environments-by-rov-and-underwater-gps(b310c641-5445-45d7-ba4e-53f5e10a87df).html) [Erişim 7 Nisan 2019].
- Walter T. R., Jousset P., Allahbakhshi M., Witt T., (2018), *Underwater and drone based photogrammetry reveals structural control at Geysir geothermal field in Iceland*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.01.010>