

Türkiye  
FOTOGRAMETRİ  
Dergisi



<b>Dergi Hakkında</b>	Türkiye Fotogrametri Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Fotogrametri alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan bir dergidir.
<b>Amaç &amp; Kapsam</b>	<p>Türkiye Fotogrametri Dergisi 2019 yılından beri yayın hayatını sürdüren ulusal hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Fotogrametri alanına ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Türkiye Fotogrametri Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayınlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayımlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.</p> <p>Türkiye Fotogrametri Dergisinin kapsamı;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Hava Fotogrametrisi</li><li>✓ Yersel Fotogrametri</li><li>✓ İnsansız hava araçları (IHA) uygulamaları</li><li>✓ Mobil haritalama uygulamaları</li><li>✓ Fotogrametrik sensor kalibrasyonu</li><li>✓ 3D sensor teknolojisi</li><li>✓ Fotogrametrik amaçlı Görüntü işleme (Görüntü eşleme, detay çıkarma, radyometrik yöntemler, sınıflandırma)</li><li>✓ 3D modelleme ve yeniden oluşturma</li><li>✓ Nokta bulutu işleme</li><li>✓ Sanal Gerçeklik</li><li>✓ Fotogrametrik Ürün elde etmede Arazi/obje modellemesi</li><li>✓ Fotogrametrik Yöneltilme işlemleri</li><li>✓ Havai Nirengi</li><li>✓ 3D amaçlı veri tabanı modellemesi</li><li>✓ Sensörlerin geometrik modeller</li><li>✓ Sınıflandırma</li></ul>
<b>Yayımlanma Sıklığı</b>	Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)
<b>e-ISSN</b>	2687-6590
<b>WEB</b>	<a href="https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod">https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod</a>
<b>İletişim</b>	myakar@mersin.edu.tr

#### EDİTÖR

**Prof. Dr. Murat YAKAR**  
Mersin Üniversitesi,  
Mersin

#### EDİTÖR YARDIMCILARI

**Dr. Öğr. Üyesi. Ali ULVİ**  
Mersin Üniversitesi,  
Konya

#### EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Bülent BAYRAM, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Sultan KOCAMAN, Hacettepe Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Konya Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Ozan ARSLAN, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. Zaide DURAN, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Bahadır ERGÜN, Gebze Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Doç. Dr. Murat UYSAL, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Eminnur Topsakal AYHAN, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ, Bülent Ecevit Üniversitesi
- Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK, Aksaray Üniversitesi
- Doç. Dr. Tarkan TÜRK, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Ali Özgün OK, Hacettepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Taner ÜSTÜNTAŞ, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN, Gebze Teknik Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Nizar POLAT, Harran Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet Emin KARKINLI, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Mehmet Güven KOÇAK, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Mahir Serhan TEMİZ, Uşak Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Lütfiye KARASAKA, Konya Teknik Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa DİHKAN, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Sefa BİLGİLİOĞLU, Aksaray Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi, Hatice Çatal REİS, Gümüşhane Üniversitesi

#### DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

# İÇİNDEKİLER

## CİLT 2 / SAYI 2

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ

\*\* Dijital El Kameraları Kullanılarak Kültürel Mirasın Belgelenmesi

Yunus Kaya\*, Abdurahman Yasin Yiğit 33

\*\* SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Fotogrametrik 3B Modelleme Potansiyellerinin Karşılaştırması

Umut G. Sefercik, Feride Tanrikulu, Can Atalay 39

\*\* İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği

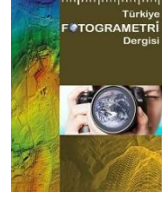
Abdurahman Yasin Yiğit\*, Ali Ulvi 46

\*\* Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi

Nizar Polat, Mehmet Önal, Fred Barış Ernst, Halil İbrahim Şenol\*, Abdulkadir Memduhoğlu, Semih Mutlu, Süheyla İrem Mutlu, Mehmet Ali Budan, Mutalip Turgut, Hüseyin Kara 55

\*\* Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması

Seda Nur Gamze Hamal\*, Ali Ulvi 60



## Dijital El Kameraları Kullanılarak Kültürel Mirasın Belgelenmesi

Yunus Kaya\*<sup>1</sup>, Abdurahman Yasin Yiğit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Belgeleme  
Fotogrametri  
Kamera  
SfM

### ÖZ

Kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması için tarihi eserlerin dokümantasyonlarının hassas bir şekilde oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca restorasyon ve yenileme sürecinde yürütülen koruma çalışmaları için kültürel miras unsurunun başarıyla korunması şarttır. Günümüze kadar teknolojinin gelişmesine paralel olarak dokümantasyon çalışmalarında birçok gelişme olmuştur ve bu teknikler hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Bu tekniklerin sık kullanılanlarından biri olan fotogrametri tekniği maliyet ve zaman açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Fotogrametri alanındaki son gelişmeler otomatik veya yarı otomatik olarak objelerin oluşturulmasına imkân sağlamıştır. Bu çalışmada dijital el kameralarının kültürel mirasın belgelenmesindeki performansı araştırılmıştır. Özbekistan'ın başkenti Taşkent'te bulunan ve 18. yüzyıldan kalan Muyi Mubarek Camisi'nin 3 boyutlu modeli sadece dijital el kamerası görüntüleri kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonucunda yöntemin avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında eserin 11 farklı detayından metre ile ölçümler yapılmıştır. Bunlarda 2 tanesi 3B modelin ölçeklendirilmesi için diğer 9 tanesi ise uzunluk bazlı karşılaştırma için kullanılmıştır. Ölçeklendirme işlemi iki farklı hat üzerinden gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda uzunluklar baz alınarak birinci ve ikinci hatlar için genel doğruluk sırasıyla 1.983 ve 2.661 cm hesaplanmıştır.

## Documenting Cultural Heritage Using Digital Handheld Cameras

### Keywords

Documentation  
Photogrammetry  
Camera  
SfM

### ABSTRACT

Documentation of historical artifacts should be created precisely in order to transfer cultural heritage to future generations. In addition, for the conservation work carried out during the restoration and renewal process, the cultural heritage element must be successfully protected. In parallel with the development of technology until today, there have been many developments in documentation studies and these techniques have progressed rapidly. Photogrammetry technique, which is one of the frequently used techniques, provides important advantages in terms of cost and time. Recent developments in the field of photogrammetry have allowed the creation of objects automatically or semi-automatically. In this study, the performance of digital handheld cameras in documenting the cultural heritage was investigated. The 3D model of the Muyi Mubarek Mosque, which is in Tashkent, the capital of Uzbekistan and remained from the 18th century, was modeled using only digital handheld images. As a result of the study, the advantages and disadvantages of the method are examined. In addition, measurements were made from 11 different details of the historical artifact. Of these, 2 were used for scaling the 3D model, and 9 were used for length-based comparison. The scaling process was carried out on two different lines. Based on the lengths, the general accuracy for the first and second lines was calculated as 1.983 and 2.661 cm, respectively.

## 1. GİRİŞ

Kültürel miras, ait olduğu dönemde yaşayan toplulukların gelenek-göreneklerini, sanatsal faaliyetlerini, sosyal ve kültürel özelliklerini (Varol vd., 2018), tarihini ve anılarını temsil ettiği için korunması gerekli olan yapılardandır. Yüzylerce yıllık geçmişin izlerini bugün anımsayabilmemiz ve o döneme ait toplumsal yaşantı ve kültürel anlayışı kavramamız bu yapıların bizlere sağladığı avantajlardır. Geçmişteki topluluklar bu eserlere gereken hassasiyeti göstermiş ve bugün bizler bu yapılar üzerinden tarihi duyguları hissedebiliyoruz. Bu anlamın ve kültürün gelecek nesillere devam etmesi için geçmişte yaşamış medeniyetlerin bizlere bıraktıkları kültürel yapıları gelecek nesillere aktarmak onlara karşı olan yükümlülüklerimizden birisidir. Geçmişten günümüze gelen tarihi yapıların bir kısmı deprem vb. doğal afetlerde zarar görmüş, bazıları yıkılmış bazıları ise günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır. Günümüzde gerek restitüsyon faaliyetlerinde gelineen teknolojik imkanlar gerekse de tarihi yapıların 3B modellerinin oluşturulabilmesi, bu yapıların olası bir tahribat durumunda (Duran, 2003; Yakar vd., 2015) orijinal ölçüsünde ve görsel doku özellikleri korunarak yeniden yapılmayı mümkün kılmıştır.

Fotogrametri tekniği son yıllarda birçok farklı alanda hızlı, güvenilir ve maliyeti düşük çözümler sunmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde fotogrametri tekniği kıyı alanlarının belirlenmesi (Gonçalves ve Henriques, 2015), arazi kullanımının değişiminin izlenmesi, şehir alanlarının belirlenmesi, orman tahribatının izlenmesi, yeşil alan tespiti, taşkın analizi, hacim hesapları (Ulvi, 2018; Kaya vd., 2019) tarihi eserlerin (Şasi ve Yakar, 2018) ve kültürel miras alanlarının modellenmesi gibi çok sayıda alanda hızlı ve güvenilir çözümler sunmuştur.

Bugün fotogrametri teknikleriyle yerden, İnsansız hava araçlarından (İHA) ve havadan çekilen görüntülerle yapılara ait modelleme işlemi ekstra iş yükü gerektirmeden yapılabilmektedir. Tabii ki her platformun kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin İHA ve hava fotogrametrisiyle elde edilen görüntülerde binaların çatıları çok net çıkmasına karşın saçak altları eksik kalmaktadır. Yalnızca yerden çekilen görüntülerde de bina yüzeyleri net bir şekilde modellenmesinin yanında çatılara ilişkin görüntü elde edilememektedir.

Bu çalışmada yalnızca basit dijital el kameralarıyla elde edilen görüntülerden yersel fotogrametri tekniği uygulanmış ve yapılar üzerindeki doğruluk araştırılmıştır. Herhangi bir özel donanım gerektirmeyen bu yöntemin doğruluğu, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada özel bir donanıma sahip olmayan el kamerası kullanılmıştır. Uygulamada dijital el kamerasının kullanılmasındaki asıl hedef, özel bir amacı olmayan kişilerin çektikleri fotoğraflarla tarihi eserlerin modellenmesindeki başarının araştırılmasıdır.

Tarihi yapının 3B olarak belgelenmesi için fotogrametri yöntemi tercih edilmiştir. Fotogrametri, eserin özelliklerini nesneye temas etmeden 3B olarak yeniden belirlemeye yarayan bir yöntemdir (Kraus, 2007).

Fotogrametri dokümantasyon sürecinde bağımsız bir yöntemdir. Bu yöntem, birbirleri arasında yeterli miktarda bindirme oranına sahip en az iki görüntüye dayanmaktadır (Yakar ve Doğan, 2017). Bu nedenle, fotogrametri uygulanacak nesnenin farklı açılarından çekilen en az iki resme ihtiyaç vardır. Başarılı olmak için belgelendirilecek nesnenin ilk ve en önemli aşaması fotoğrafçılık aşamasıdır.

Tarihi yapıya ait fotoğraflar Pentax Optio RZ dijital el kamerası ile çekilmiştir. Kullanılan dijital el kamerasının özellikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Marka	Pentax
Model	Optio RZ18
Megapiksel	16.00
Sensör Tipi	CCD
Sensör Parametreleri	1/2.33" (~6.08 x 4.56 mm)
Piksel Kenar Uzunluğu	1.32 µm
Piksel Alanı	1.74 µm <sup>2</sup>
Piksel Yoğunluğu	57.54 MP/cm <sup>2</sup>

**Şekil 1.** Pentax Optio RZ18 ve teknik özellikleri

Görüntü elde etme ve görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde son yıllarda sıkça kullanılan fotogrametri teknikleri küçük objelerden büyük yapı ve arazilere kadar yüksek doğruluklu model üretmede başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Günümüzde fotogrametri teknikleriyle oluşturulan modellerden görsel verilerin yanında geometrik bilgiler de elde edilmektedir (Atik vd. 2016; Ulvi vd., 2020).

Kısaca fotogrametri yöntemi; görüntü kalitesine bağlı olarak, bir nesnenin veya dünyanın bir kısmının hassas üç boyutlu bir modelini üretebilen yöntemdir (Akçay vd. 2017; Yakar vd., 2016).

## 2.1. Çalışma Alanı

Çalışmada 3B modeli yapılan Muyi Mübarek Camii, 18. yüzyılda Taşkent, Özbekistan'da Kokand valisi Mirza Ahmed Kusbegi tarafından yaptırılmıştır. Camii günümüze kadar herhangi bir hasar almadan korunmuştur (Şekil 2).

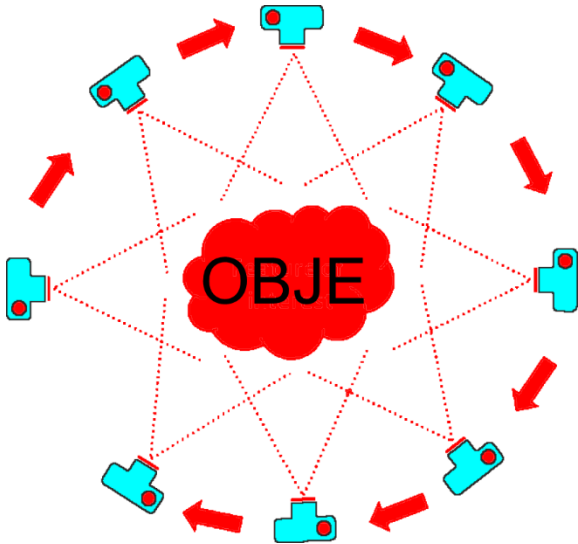


Şekil 2. Çalışma alanı (Muyi Mübarek Camii)

## 3. UYGULAMA

Tarihi ve kültürel mirasın belgeleme çalışmaları, saha çalışması ve ofis çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir.

Uygulamada saha çalışmasında, tarihi eserin özniteliklerini yansıtan fotoğrafların çekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflar çekilirken şekil 3'te gösterilen fotogrametrik kamera çekim konumları dikkat edilerek her bir fotoğraf arasında en az %70 bindirme oranı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Fotogrametrik kamera çekim konumları

Ayrıca yapının belirli detaylarından metre ile ölçümler alınmıştır (Şekil 4). Bu ölçümler 3B modelin ölçeklendirilmesinde ve uzunluk bazlı değerlendirilmesinde kullanılmıştır.



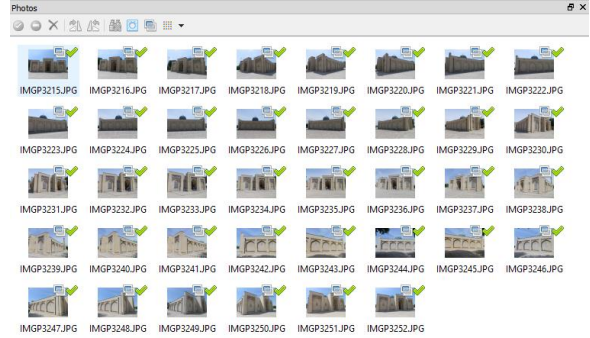
Şekil 4. Metre ile ölçüm işlemi

Ofis çalışması ise elde edilen fotoğraf verilerinin fotogrametrik yazılımlar aracılığıyla işlenmesi ve 3B modelin oluşturulmasını kapsamaktadır.

Fotogrametrik değerlendirme süreci Agisoft PhotoScan yazılımında gerçekleştirilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımı temel anlamda hareketten nesne oluşturma (Structure from Motion-SfM) tekniğini kullanmaktadır (Ulvi, 2020).

SfM tekniği, sıralı çekilmiş 2 boyutlu görüntülerden 3B model elde etmeyi sağlayan bir fotogrametri tekniğidir (Morgan ve Boran, 2016; Sarıtürk ve Şeker, 2017). SfM tekniği 3B modeli yapılacak olan objenin etrafında farklı kamera konumlarında alınan fotoğraflar ile belirli epipolar geometri (Xiang ve Cheong, 2003) koşullarını yerine getirerek objeye ait 3B görünümün elde edilmesini sağlar.

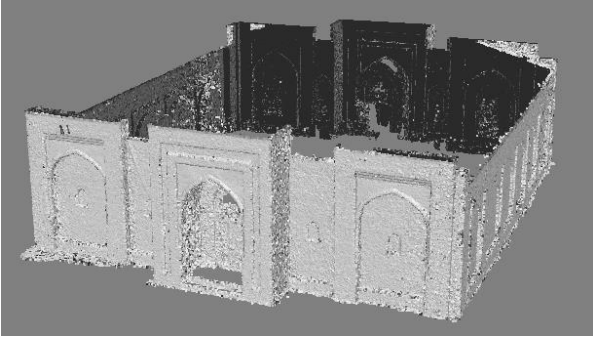
Çalışma kapsamında tarihi esere ait 78 adet fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğraflardan uygun olarak seçilen 38 adedi 3B model üretiminde kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Uygulamada kullanılan fotoğraflar



Şekil 6. Yoğun nokta bulutu (Dense Point Cloud/~12milyon)



Şekil 7. Katı 3B model

Muyi Mübarek camisine ilişkin 3B modelin oluşturulması için dijital el kamerasıyla elde edilen görüntüler Agisoft PhotoScan yazılımında 3B olarak değerlendirilmiş ve camiye ait 3B model elde edilmiştir.

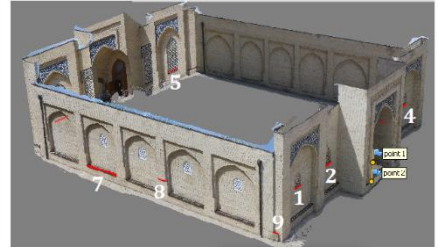
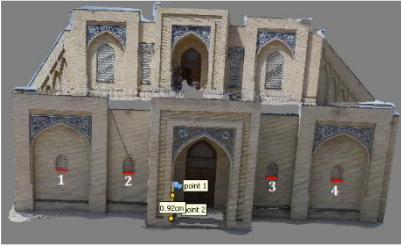


(A)



(B)

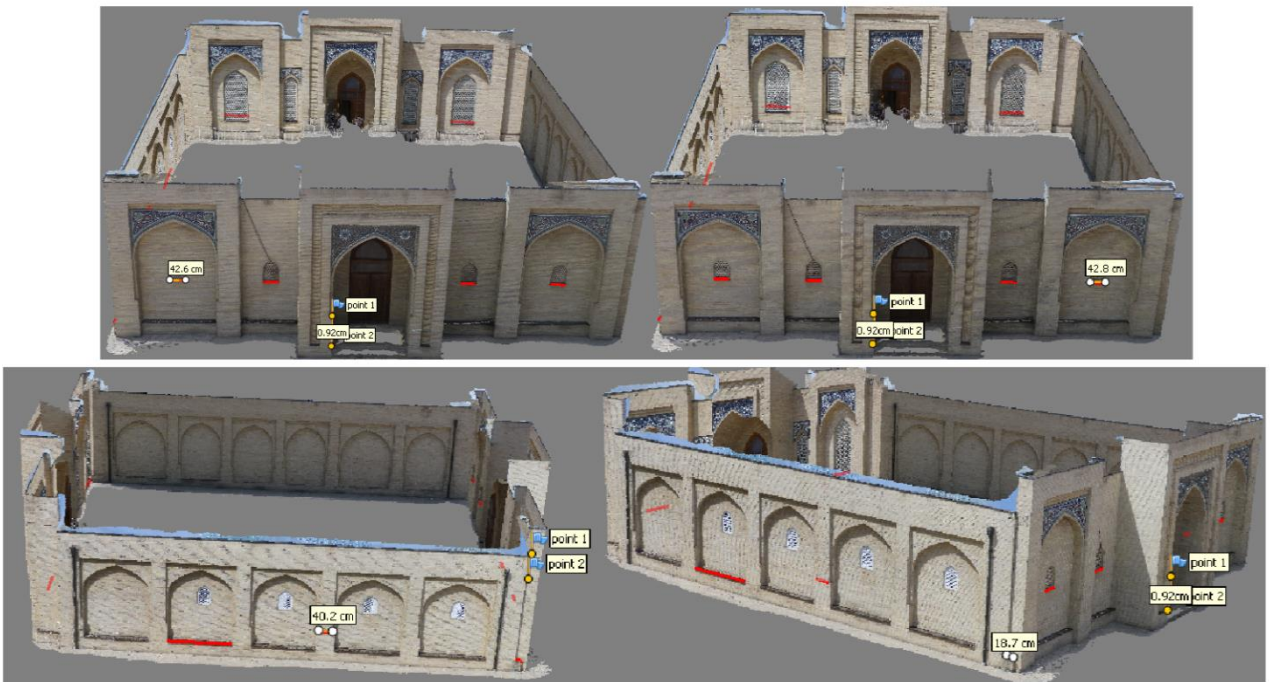
Şekil 8. Orijinal fotoğraf (A) ve 3B Model (B)



Şekil 9. 3B modeli ölçeklendirmek için kullanılan hatlar

3B model üretildikten sonra modelin ölçeklendirilmesi işlemi yapılmıştır. Arazide yapı üzerinden metre ile ölçülen 11 adet detaydan 2 tanesi ölçeklendirme için kullanılmıştır.

Şekil 9'da gösterilen 9 tane detay (kırmızı hatlar) ise kontrol amaçlı kullanılmıştır. Şekil 10'da ölçeklendirme sonucunda oluşan değerler gösterilmektedir.



Şekil 10. Ölçeklendirme işlemi sonundaki değerler



#### 4. BULGULAR

Dijital fotogrametri tekniğini kullanan yazılımlar ile sıralı çekilmiş fotoğraflardan SfM metodu kullanarak 3B model elde edilebilmektedir. Elde edilen 3B model gerçek doku ve görüntüye sahip olmaktadır. Eğer arazide Total-Station gibi hassas ölçüm cihazları ile detaylı ölçüm yapılamamış ise elde edilen 3B model, yazılımın kendi içerisinde oluşturduğu 3B uzayda (x,y,z) lokal koordinatlarda ölçeksiz bir şekilde oluşmaktadır.

Belgeleme çalışmalarında oluşturulan 3B model ileride restorasyon çalışmalarında kullanılabilmesi için gerçek ölçülerinde ve eksiksiz olması beklenmektedir. Çalışma sonucunda oluşturulan 3B modelin ölçeklendirilebilmesi için obje üzerinde bulunan 11 farklı hat üzerinden metre ile ölçümler yapılmıştır. Bunlarda 2 tanesi 3B modelin ölçeklendirilmesi için diğer 9 tanesi ise uzunluk bazlı karşılaştırma için kullanılmıştır. Karşılaştırma sonucunda uzunluklar baz alınarak ilk hat için genel doğruluk Tablo 1’de gösterildiği üzere 1.983 cm hesaplanmıştır. İkinci hat için genel doğruluk Tablo 2’de gösterildiği üzere 2.661 cm hesaplanmıştır

**Tablo 1.** Yapıya ait ölçü değerlerinin doğrulukları (1.Hat için)

Ölçü No	Metre ile ölçülen değer (cm)	3B Modelden alınan değer (cm)	Fark (cm)
1	45	42.6	2.4
2	45	42.9	2.1
3	45	43.4	1.6
4	45	42.8	2.2
5	100	97.8	2.2
6	100	98.5	1.5
7	200	197.0	3.0
8	40	40.2	0.2
9	20	18.7	1.3
<b>RMSE<sub>1</sub></b>		<b>1.983 cm</b>	

Genel doğruluk, farklar (vi) ve ölçü sayısı (n) dikkate alınarak denklem 1’e göre hesaplanmıştır.

$$RMSE_l = \sqrt{\frac{\sum |v_i|^2}{n}} \quad (1)$$

**Tablo 2.** Yapıya ait ölçü değerlerinin doğrulukları (2. Hat için)

Ölçü No	Metre ile ölçülen değer (cm)	3B Modelden alınan değer (cm)	Fark (cm)
1	45	43.9	1.1
2	45	43.1	1.9
3	45	41.2	3.8
4	45	43.0	2.0
5	100	97.1	2.9
6	100	98.3	1.7
7	200	196.0	4.0
8	40	41.3	1.3
9	20	17.9	2.1
<b>RMSE<sub>1</sub></b>		<b>2.661 cm</b>	

#### 5. SONUÇLAR

Fotogrametri yöntemi, kültürel mirasın üç boyutlu bir modelin hızlı ve doğru bir şekilde oluşturulmasında başarıyla uygulanmaktadır. Bu yöntem kullanılarak belgelenen 3B modeller gerçek doku ile kaplanabilmektedir. Fotogrametri tekniği; insanların geleneksel belgeleme yöntemleriyle erişilmesi zor olan eserlere kolay bir şekilde uzaktan, el değmeden belgelenmesine olanak sağlamaktadır. Metrik olmayan dijital el kameraları hemen hemen herkes tarafından erişilebilir ve kullanılabilir. Bu sayede bu cihazlara erişimi olan herkes aslında belgeleme çalışmalarına katkı sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada dijital el kameraları ile çekilen fotoğraflardan yararlanılarak üretilen 3B modelin tarihi eserlerin belgelenmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında 2 temel sorunla karşılaşılmıştır. Bu sorunlardan ilki esere ait tüm cephelerin fotoğraflarının çekilememesidir. Dijital el kamerası ile esere ait görünebilen cephe fotoğrafları tam ve eksiksiz bir şekilde toplanabilmektedir. Fakat eserin üst kısmına ait fotoğraf verilerine ulaşmak zor olmaktadır. Bu yüzden yer merkezli çekilen fotoğraflardan yapılan 3B model ile belgeleme çalışmalarında dezavantaj oluşmaktadır. Bu durum ya üst cephelerin görünebildiği konumdan fotoğrafların çekilmesiyle ya da son zamanlarda hem hobi amaçlı hem de farklı disiplinlerce kullanılan İHA yardımıyla giderilebilmektedir.

İkinci sorun ise oluşturulan 3B modelin ölçeklendirilmesidir. Belgeleme çalışmalarında eserin tüm detaylarının gerçek ölçüsünde olması gerekmektedir. Bunun için arazide hassas ölçüm cihazları ile detay noktaların ölçülmesi ve 3B model üretiminde kullanılması gerekmektedir. Esere ait detay ölçümler yapılamaması durumunda belirli hatlar üzerinden metre ile ölçümler yapılması suretiyle 3B modeller ölçeklenebilmektedir. Bu çalışmada da ölçeklendirme aşaması metre ile ölçülen hatlar kullanılarak yapılmıştır. Genel doğruluk 1.983 cm hesaplanmıştır. Fakat Şekil 9,10 ve Tablo 1 de görüldüğü üzere 1,2,3 ve 4 numaralı hatların gerçek ölçüsü ile ölçeklendirme sonunda elde edilen ölçüleri arasında 1.6 cm ile 2.4 cm arasında farklar olduğu görülmüştür. Bu farkın temel sebebi ölçeklendirme işleminin tek bir hat üzerinden gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Çalışma sonunda elde edilen genel doğruluğun hassasiyeti referans alınan hattın konumu ve büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden ölçeklendirme işlemi; ilk referans alınan hatta göre daha kısa ve farklı bir cephede bulunan başka bir hat kullanılarak tekrar yapılmıştır. Tablo 2’de görüldüğü üzere genel doğruluk azalmıştır. Tablo 1 ve 2 incelendiğinde aynı hatlara ait uzunlukların farklı boy ve konumdaki referanslara göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu durum modelin ölçeklendirilmesinde önemli sorunlara sebep olabilmektedir.

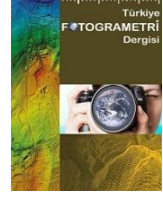
Çalışma sonunda görüldüğü üzere 3B bir modelin ölçeklendirilme işlemi bir hattın referans alınması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Fakat 3B modelin ölçeği referans alınan hattın büyüklüğü ve konumu ile doğrudan ilişkilidir. Aynı model üzerinden iki farklı referans alınan hat ile gerçekleştirilen ölçeklendirme işleminde diğer hatların uzunlukları farklılık göstermektedir. Bu sorunun ortadan kalkması için arazide esere ait Total-Station gibi hassas ölçüm cihazları ile detay ölçümleri yapılması gerekmektedir. Ölçülmesi gereken detay sayısı belirlenirken eserin büyüklüğü ve şekli dikkate alınmalıdır. Ölçülmesi gereken detay noktaları her cepheye homojen olarak dağıtılması gerekmektedir. Bu sayede ölçeklendirme süreci fotoğrafların dengelenmesi işleminde gerçekleştirilebilir ve hassas bir şekilde 3B model elde edilebilir.

### KAYNAKÇA

- Akçay, O., Erenoglu, R. C. ve Avsar, E. O. (2017). The effect of jpeg compression in close range photogrammetry, *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, Vol;2, Issue;01, pp. 35-40, February, 2017, ISSN 2548-0960, Turkey, DOI: 10.26833/ijeg.287308.
- Atik, M. E., Ünlüer, S., Duran, Z., ve Çelik, M. F. (2016). Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Taramanın Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi. 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, Adana.
- Duran Z. (2003). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması. *Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Gonçalves, J. A., ve Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101-111.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M., ve Polat, N. (2019). Hacim Hesaplarında İHA Kullanımı: *Osmanbey Kampüsü Örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 7-10.
- Kraus K. (2007). Fotogrametri, Fotoğraflardan ve Lazer Tarama Verilerinden Geometrik Bilgiler, Çeviri, İTÜ, (Çevirenler M.O.Altan vd.)
- Morgan, J. A. ve Brogan, D. J. (2016). How to VisualSFM, Department of Civil & Environmental Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- Sarıtürk, B., ve Şeker, D. Z. (2017). SfM Tekniği ile 3b Obje Modellenmesinde Kullanılan Ticari ve Açık-Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması. *IX. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu.*
- Şasi, A., ve Yakar, M. (2018). Photogrammetric Modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) Using an Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- Ulvi, A. (2018). Analysis of the Utility of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Volume Calculation by Using Photogrammetric Techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 43-49.
- Ulvi, A. (2020). Importance of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in the Documentation of Cultural Heritage. *Turkish Journal of Engineering*, 4 (3), 104-112.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., ve Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Varol, F., Ulvi, A., ve Yakar, M. (2018). Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Yersel Fotogrametri Tekniğinin Kullanılması: Sazak Köprüsü Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(57), 986-991.
- Xiang, T., ve Cheong, L. F. (2003). Understanding the Behavior of SfM Algorithms: A Geometric Approach. *International Journal of Computer Vision*, 51(2), 111-137.
- Yakar, M. and Doğan, Y. (2017). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages, *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, Vol; 3; Issue; 2, pp. 050-055, June, 2018, ISSN 2548-0960, Turkey, DOI: 10.26833/ijeg.378257
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıkcı, K., Kaya, Y., ve Catın, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.



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



## SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Fotogrametrik 3B Modelleme Potansiyellerinin Karşılaştırması

Umut G. Sefercik<sup>1</sup>, Feride Tanrikulu<sup>2</sup>, Can Atalay<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği ABD, Türkiye

<sup>3</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

SFM  
VisualSFM  
Agisoft  
Pix4D  
Dijital Yüzey Modeli

### ÖZ

Lokal hareket işaretleri ile iki boyutlu görüntü dizilerinin birleşiminden üç boyutlu (3B) yapıları kestirebilmek için geliştirilmiş Hareketten Yapı (Structure From Motion, SFM) fotogrametrik görüntü eşleştirme algoritması, yeni nesil ve yaygın olarak kullanılan bulut tabanlı görüntü eşleştirme yazılımlarının temel prensibidir. Bu yazılımlar ortak prensipte çalışmasına rağmen, kullanıcı tarafından müdahale edilemeyen gömülü parametrelerine bağlı olarak 3B sonuç ürünleri farklı özellikler ve distorsiyonlar içermektedir. Bu çalışmada, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma Kampüsü'nde insansız hava aracı (İHA) ile elde edilen yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarından VisualSFM, Agisoft ve Pix4D SFM tabanlı yeni nesil görüntü eşleme yazılımları kullanılarak eş grid aralıklı 3B dijital yüzey modelleri (DYM) üretilmiştir. Üretilen DYM'ler kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve Agisoft DYM'si referans olarak kullanılarak DYM'ler görsel ve istatistiksel yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır. Standart sapma ve normalize medyan mutlak sapma temelinde elde edilen sonuçlar, analiz edilen SFM tabanlı yazılımların artılarını ve eksilerini açıkça ortaya koymuştur.

## Photogrammetric 3D Modelling Potential Comparison of SFM-Based New Generation Image Matching Software

### Keywords

SFM  
VisualSFM  
Agisoft  
Pix4D  
Digital Surface Model

### ABSTRACT

Structure from motion (SFM) matching algorithm is the basic principle of new generation and widely used image matching software. Although these software work in common principle, their final products may contain different characteristics and distortions depending on their buried parameters. In the literature, there is lack of publications which compare the three dimensional modelling performance of SFM based new generation software. Accordingly, our research group decided to carry out a study that could be a reference for upcoming researches. In this study, using VisualSFM, Agisoft and Pix4D SFM based image matching software, 3D digital surface models (DSM) were generated from unmanned air vehicle (UAV) high resolution aerial photos in a Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University. Generated DSMs were comprehensively evaluated and compared by visual and statistical approaches utilizing the Agisoft DSM as the reference. The results clearly demonstrated the pros and cons of each analyzed SFM-based software.

## 1. GİRİŞ

Lokal hareket işaretleri ile iki boyutlu görüntü dizilerinin birleşiminden üç boyutlu (3B) yapıları kestirebilmek için geliştirilmiş Hareketten Yapı (Structure From Motion, SFM) fotogrametrik görüntü eşleştirme algoritması, yeni nesil ve yaygın olarak kullanılan bulut tabanlı görüntü eşleştirme yazılımlarının temel prensibidir (Hartley ve Zisserman 2003, Carrivick ve ark. 2016). Bu yazılımlar ortak prensipte çalışmasına rağmen, kullanıcı tarafından müdahale edilemeyen gömülü parametrelerine bağlı olarak 3B sonuç ürünleri farklı özellikler ve distorsiyonlar içermektedir.

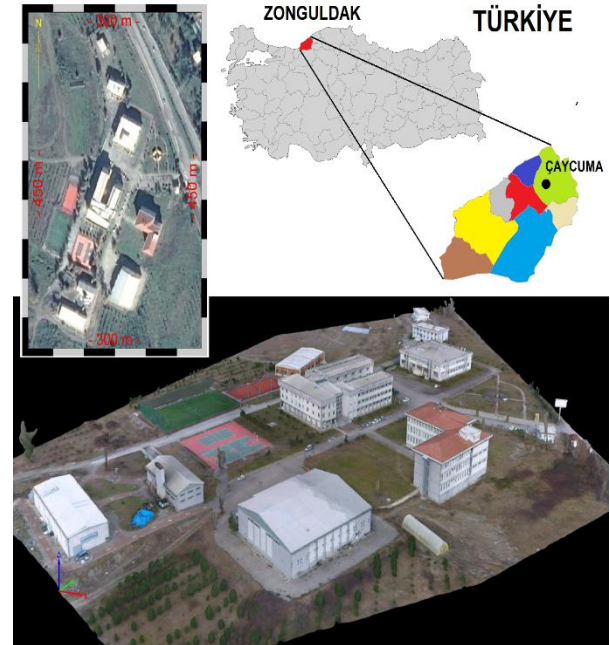
Optik İHA teknolojisinde, geleneksel fotogrametri ve Hava Kaynaklı Lazer Taramaya (ALS) ( $\geq 800$  m) kıyasla çok daha düşük uçuş irtifalarının ( $\leq 300$  m) avantajı ile çok yüksek çözünürlüklü (VHR) hava fotoğrafları elde edilebilmektedir (Yang ve ark. 2016; Zongjian ve ark. 2012). Örneğin, ekibimizce yapılmış bir saha testinde, 12 Mega Piksel (MP) çözünürlüklü kameraya sahip bir optik İHA ile 200 m irtifadan yaklaşık 6 cm yer örnekleme aralıklı hava fotoğrafı elde edilebildiği tespit edilmiştir. Bu durum, İHA'nın geleneksel fotogrametri ve ALS'ye göre özellikle geniş olmayan çalışma alanları için büyük bir avantajdır. Buna ek olarak, İHA nokta bulutları CMOS sensör entegreli çok bantlı dijital kameralarla orijinal renklerinde elde edilir ki bu durum da ALS'ye göre büyük bir avantajdır (Rosnell ve Honkavaara 2012; Swatantran ve ark. 2016). İHA'nın uygulamalarda çok daha fazla tercih edilmesinin bir nedeni de maliyeti göz önüne alındığında daha ulaşılabilir oluşudur. Nokta bulutlarının İHA teknolojisine adaptasyonu ile çok sayıda nokta bulutu tabanlı ticari yazılım paketi piyasaya sürülmüş ve kullanıcılar tarafından büyük ilgi görmüştür (Alidoost ve Arefi 2017). Bu yazılım paketleri, hedef alanlarda yüksek çözünürlüklü ortogörüntü ve dijital yüzey modeli (DYM) üretimi için İHA stereo veri işleme destekler ve temel prensipleri "Hareketten Yapı (SFM)" eşleştirme algoritmasıdır. Tüm İHA kullanıcıları veri işleme için mevcut yazılım paketlerinden birini tercih eder, ancak daha iyi bir DYM oluşturmak için hangi yazılım paketinden faydalanmaları gerektiği günümüzde bu alandaki en büyük soru işaretlerinden biridir. Yapılan literatür araştırmasında, nokta bulutu tabanlı ticari yazılımlarla uygulamaların henüz bir kaç yıldır yapılıyor oluşu nedeniyle birbirleriyle kıyaslamalarını içeren çalışmaların mevcut olmadığı görülmüştür (Birdal ve ark. 2017; Jiang ve Jiang 2018; Cömert ve ark. 2019).

Bu çalışmada, en çok tercih edilen SFM tabanlı görüntü eşleştirme yazılım paketlerinden üçü olan Agisoft, Pix4d ve Visual SFM'nin (VSFM) sonuç DYM'leri ve bunların birbirleri ile tutarlılığı analiz edilmiştir. Analizlerde, farklı arazi sınıflarını içeren Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin Çaycuma yerleşkesi çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Uygulamalarda ayrıca, çalışma alanının yarısı tek

demet (bundle) diğer yarısı ise çift demet uçuşla fotoğraflanarak, incelenen yazılımların sonuç DYM'lerinin hava fotoğrafı sayısı ile olan ilişkileride analiz edilmiştir. Çalışma, amaçlar doğrultusunda şu şekilde düzenlenmiştir: Çalışma alanı ve kullanılan materyeller bölüm 2'de verilmiştir. Hava fotoğraflarının alımı, karşılıklı ve mutlak yönelme, DYM üretim ve değerlendirme metodolojileri bölüm 3'te sunulmuştur. Bölüm 4'te bulgular sergilenmiş ve sonuçlar bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE MATERYALLER

Çalışma alanı, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin üçüncü büyük kampüsü olan Çaycuma yerleşkesidir. Alan, bina, bitki örtüsü ve açık alan olarak farklı arazi sınıflarına sahiptir. Topoğrafyanın büyük kısmı düzdür ve güneyi kısmen eğimlidir. Şekil 1, çalışma alanının yerini ve bu çalışmada elde edilen 3B ortomozaiğini göstermektedir. İHA uçuşlarında, DJI Phantom IV insansız hava aracı ve SATLAB SL600 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Tablo 1'de, kullanılan İHA ve GNSS alıcısının özet bilgileri sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanının yeri ve İHA uçuşlarından elde edilen örnek bir hava fotoğrafı

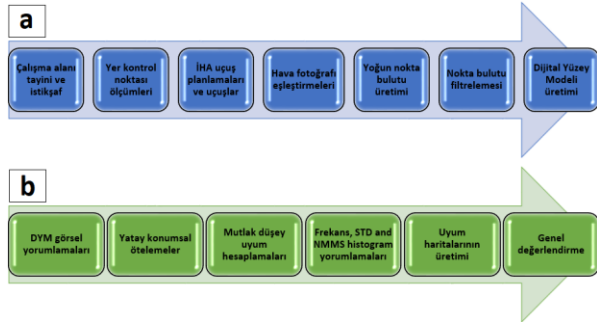
## 3. METODOLOJİ

Çalışmanın metodolojisi Şekil 2'de gösterildiği gibi iki ana kısımda ele alınmıştır. İlk bölüm başlangıçtan DYM üretimine kadar geçen işlem adımlarını kapsarken, ikinci bölüm üretilen DYM'lerin görsel ve istatistiksel uyum değerlendirme adımlarını kapsamaktadır. İlk bölümde, hava fotoğraflarının eşleştirilmesi ve yoğun nokta bulutlarının oluşturulması için Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılım paketleri kullanılmıştır. Ayrıca yoğun nokta bulutlarının incelenmesi ve filtrelenmesi için Microstation TerraScan modülü ve

DYM üretimi için LISA ve Surfer yazılımları kullanılmıştır. İkinci bölümde, oluşturulan DYM'lerin yatay kayıklıklarının belirlenerek ötelenmesi ve karşılaştırmaya dayalı uyum değerlendirilmesi için Hannover Leibniz Üniversitesi Demet Blok Dengeleme (BLUH) DYM yazılımı kullanılmıştır. Görsel yorumlama ve uyum haritası üretimi için yine LISA ve Surfer yazılımlarından faydalanılmıştır.

**Tablo 1.** Kullanılan materyellerin özellikleri

DJI Phantom IV	
Kamera	4K, HD, 1080p, 1/2.3", efektif piksel 12.4 MP
Gimbal	3-eksenli (pitch, roll, yaw)
Uçuş süresi	Tek uçuşta maksimum 28 dakika
Ağırlık	1380 gr
Hız	Maksimum 20 m/s
Rüzgar hızına mukavemeti	Maksimum 10 m/s
Operasyonel ısı	0°- 40°
GNSS modülü	GPS + GLONASS dual
Konum doğruluğu	0.1 m Düşey, 0.3 m Yatay (görüş); 0.5 m Düşey, 1.5 m Yatay (GPS)
SATLAB SL 600 GNSS	
GNSS teknolojisi	6G ; GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou, SBAS, QZSS
Operasyon sistemi	Linux
Çalışma modları	Statik, VRS RTK, UHF RTK, tüm ölçüm modları
Dahili bellek	1 GB
RTK Konum doğruluğu	0.8 cm H, 1.5 cm V with 99.9% confidence level
Pil	Dual; 24 h statik, 18 h RTK baz, 15 h RTK gezici
TUSAGA-Aktif	Mevcut



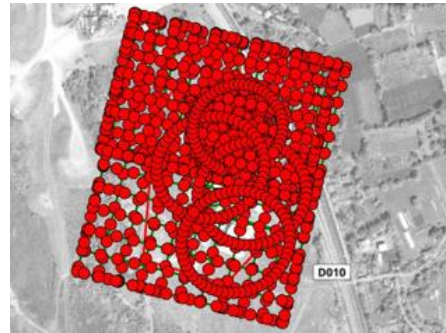
**Şekil 2.** Çalışmanın metodolojisi; (a) oluşturma adımları, (b) değerlendirme adımları

DJI Phantom IV İHA ile elde edilen hava fotoğraflarının doğru eşleştirilmesi için, 17 yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmiş ve arazide ölçülmüştür. YKN'ler statik GNSS yöntemi ile ölçülmüş ve  $\geq 1$  cm yatay ve düşey mutlak konum doğruluğuna sahiptirler. Arazide konumlandırılmış YKN'lerin dağılımı ve örnek GNSS ölçümü Şekil 3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.** YKN dağılımı ve bir örnek GNSS ölçümü

Uçuş planlamasında, çalışma alanının herhangi bir boşluk olmadan tam olarak stereo kapsanması temel hedef olarak belirlenmiştir. Buna göre, alanın tümü tek demet (Kuzey-Güney, Doğu-Batı veya ilgili alanın tek yönlü uçuşması) uçuş tekniğiyle fotoğraflanmış ve binalar ayrıca dairesel olarak uçulmuştur. Daha fazla fotoğrafın sonuç DYM'ler üzerindeki etkisini test etmek için, tamamı tek demet fotoğraflama ile algılanmış alanın yarısında uçuş şeritleri kaydırılarak çift demet (tek yönlü uçuşa dik olacak şekilde ilgi alanının tekrardan uçuşması) algılama yapılmıştır. Uçuşlarda, en az %80 boyuna ve %40 enine bindirme oranları ve dairesel uçuşlarda bina yan yüzeylerinin daha iyi algılanması için %5-10 eğik çekim tercih edilmiştir. Şekil 4, uçuş planı uyarınca elde edilen hava fotoğraflarının merkez noktalarını göstermektedir.



**Şekil 4.** Kullanılan İHA ve hava fotoğrafı merkez noktaları

Elde edilen hava fotoğrafları Agisoft, Pix4d ve VSFM yazılım paketleriyle ayrı ayrı eşleştirilmiş ve yüksek çözünürlüklü nokta bulutları elde edilmiştir. Pix4d nokta bulutunda, tek demet uçuşundan üretilen nokta bulutunun özellikle Güney-Batı kısmında gürültülü bölümler olduğu görülmüştür. Tespit edilen gürültülü bölümler, nokta bulutunun düşey profilinde fence tekniği ile filtrelenmiştir. Şekil 5, Pix4d nokta bulutunun gürültülü ve filtrelenmiş versiyonunu göstermektedir. Çalışma alanının

DYM'leri Agisoft, Pix4d ve VSFM nokta bulutlarından ayrı ayrı üretilmiştir. Orijinal grid aralığı 0.25 m olarak tercih edilmiştir. Vektör raster dönüşümü için, her piksel için maksimum Z kullanılmasını sağlamak amacıyla data metrikleri (data metrics) enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. YKN'lere göre doğruluk ve elde edilen nokta bulutları ve DYM'lerin görsel yorumlaması ile çalışma alanı için referans model olarak Agisoft DYM tercih edilmiş ve uyum analizlerinde Pix4d ve VSFM DYM'leri Agisoft DYM ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 5.** Gürültülü (a) ve filtrelenmiş (b) Pix4d nokta bulutu verisi

DYM'lerin değerlendirilmesinde, bazı ön düzeltmeler gerekmektedir. İlk olarak, DYM'lerin koordinat sistemi, yatay ve düşey datumu aynı olmalıdır. Agisoft, Pix4d ve VSFM'de İHA fotoğraflarının eşleştirilmesi için aynı YKN'lerin kullanılması nedeniyle, koordinat sistemi ve datum aynıdır. Ortak koordinat sistemi Evrensel Enlem Merkatoru (UTM), yatay datum Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (WGS84) ve düşey datum ortometriktir. Başka bir ön düzeltme, doğru düşey doğruluk ve uyum değerlendirmesinin ana kuralı olan karşılaştırılan DYM'lerin % 100 yatay örtüşümüdür. Agisoft, Pix4d ve VSFM DYM'leri arasındaki yatay kayıklıklar, alan tabanlı çapraz korelasyon ile ortadan kaldırılmıştır (Baltsavias ve ark. 2008; Alobeid ve ark. 2010). Tablo 2, X ve Y yönlerinde tespit edilen ve giderilen kayıklıkların standart sapmalarını göstermektedir.

**Tablo 2.** Tespit edilen ve giderilen yatay kayıklıklar

Referans DYM	Karşılaştırılan DYM	STD <sub>x</sub> (cm)	STD <sub>y</sub> (cm)
Agisoft (0.25m)	Pix4d (0.25m)	0.1	- 6.8
	VSFM (0.25m)	- 0.5	- 6.4

Düşey uyum analizinde, piksel tabanlı yükseklik farklılıklarının standart sapması (STD<sub>Z</sub>) ve normalize medyan mutlak sapması (NMMS) kullanılmıştır. NMMS özellikle majör yükseklik farkları için robust bir hesaplama metriğidir ancak büyük bir veri setindeki minör aykırı değerlerin belirlenmesinde STD<sub>Z</sub> kadar hassas değildir (Hellerstein 2008). Karşılaştırılan DYM'ler arasında normal yükseklik farkı olması durumunda NMSS ya STD<sub>Z</sub> ile aynıdır ya da daha küçüktür. NMSS'in STD<sub>Z</sub>'den büyük olması ise yükseklik farklılıklarının anormal dağılımına işaret eder ki bu durumda üretilen model ciddi boyutta hata ya da distorsiyon içeriyor demektir ve mutlaka tekrar detaylı şekilde kontrol edilmeli, hata kaynakları bulunmalı ve hatalar

giderilmelidir. Şayet hatalar giderilemiyorsa DYM dikkatli şekilde tüm parametreler gözden geçirilerek yeniden üretilmelidir.

NMSS, tek değişkenli kantitatif veri serisinin değişkenliğinin robust bir ölçüsü olan medyan mutlak sapmanın (MMS) bir türevidir. STD<sub>Z</sub>, MMS ve NMSS denklemleri eşitlik 1, 2 ve 3'te sunulmaktadır.

$$STD_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$MMS = \bar{X}_i [|\Delta Z_i - \bar{X}_j (\Delta Z_j)|] \quad (2)$$

$$NMMS = 1.4826 \times (MMS) \quad (3)$$

Eşitliklerde,  $\mu$  referans DYM ve karşılaştırılan DYM arasındaki piksel bazlı yükseklik farklarının aritmetik ortalamasıdır.  $\bar{X}_j$ ,  $(\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n)$  piksel bazında yükseklik farkları tek değişkenli veri kümesinin medyanıdır.  $\bar{X}_i$  ise,  $\bar{X}_j$ 'den olan yükseklik farklarının medyanıdır. Uyum analizi, bir eğim faktörü kullanılarak eğimli ve eğimsiz alanlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Analizde, eğimli alanların ayrılması için eşik değeri olarak eğim  $< \tan^{-1} 0.1$  ( $\sim 6^\circ$ ) kullanılmıştır.

Agisoft ve karşılaştırılan DYM'ler arasındaki piksel bazlı yükseklik farklarından üretilen uyum haritaları, eşitlik 4 kullanılarak oluşturulmuştur.

$$Uyum\ haritası = DYM_{AGISOFT} - DYM_{Karşılaştırılan} \quad (4)$$

#### 4. BULGULAR

Agisoft, Pix4d ve VSFM'den elde edilen nokta bulutları Şekil 6'da gösterilmektedir. Açıkça görülebileceği gibi, Agisoft nokta bulutu diğerlerine kıyasla gerçek görünür yüzeye daha yakındır. Pix4d ve VSFM nokta bulutlarında, yer yer dikkat çekici boşluklar mevcuttur. Bu durum, çalışma alanında elde edilen hava fotoğraflarında eşleşme performanslarının Agisoft kadar yüksek olmadığı anlamına gelmektedir. Bir başka bulgu da eşleşmeden sonra elde edilen nokta sayısıdır. Agisoft ve Pix4d benzer sayıda noktaya sahip olmasına rağmen, VSFM aynı sayıda hava fotoğrafı ile bunların onda biri kadar nokta ile sınırlı kalmıştır.

Diğer bir çıkarım, tek ve çift demet uçuş yapılan bölgelerde nokta bulutu yapısındaki ciddi farklılık olarak göze çarpmaktadır. Agisoft nokta bulutunda herhangi bir farklılık göze çarpmazken Pix4d ve VSFM nokta bulutlarının güney bölümlerinde birtakım boşluklar göze çarpmaktadır.

Agisoft, Pix4d ve VSFM nokta bulutlarından üretilen DYM'ler Şekil 7'de gösterilmektedir. Nokta bulutu sonuçlarına paralel olarak Agisoft DYM'nin görsel performansı Pix4d ve VSFM'den daha üstündür. DSM üretiminde daha az sayıda nokta bulunduğundan, VSFM DSM'nin tanımlama potansiyeli diğerlerinden daha düşük olarak ortaya çıkmıştır. Agisoft ile karşılaştırıldığında, hem Pix4d hem de VSFM DYM, özellikle tek demet uçuştan gelen alanda nokta bulutlarına paralel olarak gürültüye sahiptir (lütfen Şekil 4'ü inceleyiniz). Çift demet uçuşlu üst yarıda, Pix4d ve

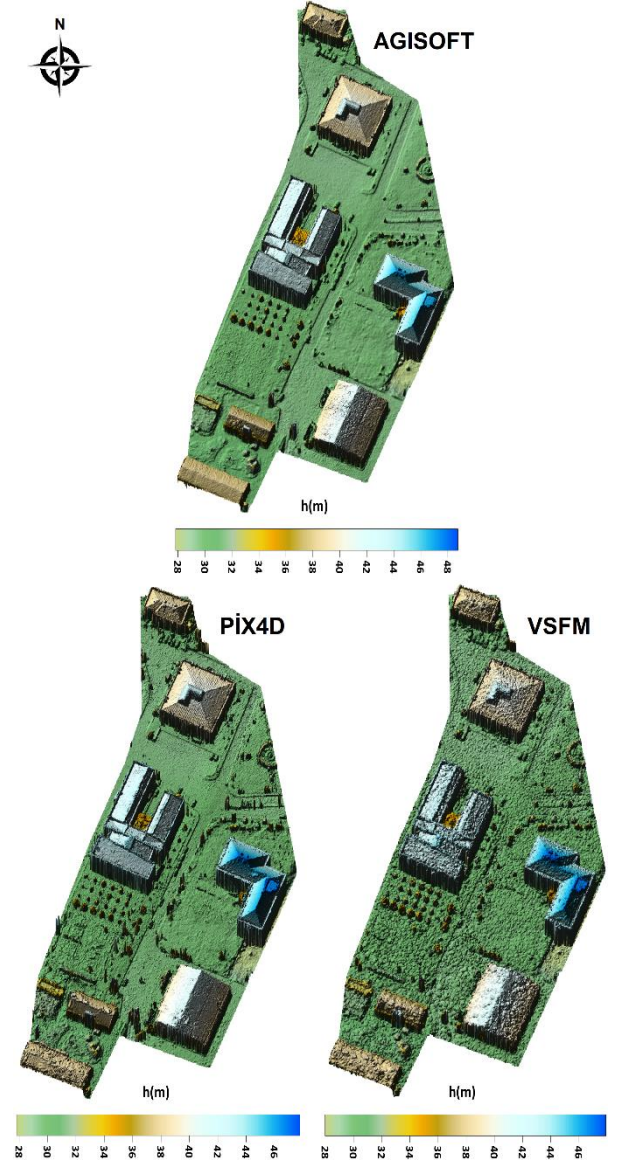
VSFM DYM'lerin tanımlama potansiyeli alt yarıdan daha yüksektir. Bu, Agisoft ile karşılaştırıldığında Pix4d ve VSFM'de daha yüksek 3B modelleme performansı için daha fazla sayıda hava fotoğrafına ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 6. Agisoft, Pix4d ve VSFM nokta bulutları

Tablo 3'te, referans Agisoft DYM ile Pix4d ve VSFM DYM'leri arasındaki mutlak düşey uyum, STDz ve NMSS olarak sunulmuştur. Tabloda, arazi eğiminin ve çıplak topoğrafya üzerindeki ani yükseklik değişimlerine sahip bina, bitki örtüsü gibi nesnelerin sonuçlar üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için tüm alan ve eğimsiz alanların sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Analizlerde, doğru yorumlama yapabilmek için yükseklik farkı bir metreden fazla olan pikseller kaba nokta olarak tasvir edilmiş ve hariç tutulmuştur. Pix4d ve VSFM için hariç tutulan noktaların yüzdesi çok benzer ve sırasıyla % 0.91 ve % 0.89'dur. Analizlerde, referans ve karşılaştırılan DYM'ler arasındaki sistematik hata hesaplanmış ve düşey öteleme ile giderilerek ortadan kaldırılmıştır. Her iki DYM'nin NMSS sonuçları STDz'lerinin yaklaşık üçte biri ve  $\pm 15$  cm

seviyesindedir, bu da majör seviyedeki detaylar için DYM kalitelerinin referansa yakın olduğu anlamına gelmektedir. Ancak, STDz sonuçları minör yükseklik farkları cephesinde mutlak düşey uyumun daha düşük seyrettiğini işaret etmektedir. STDz sonuçları tüm alan için yaklaşık  $\pm 40$  cm seviyesinde iken eğimsiz alanlarda, her iki DYM için de yaklaşık  $\pm 25$  cm dolayındadır.

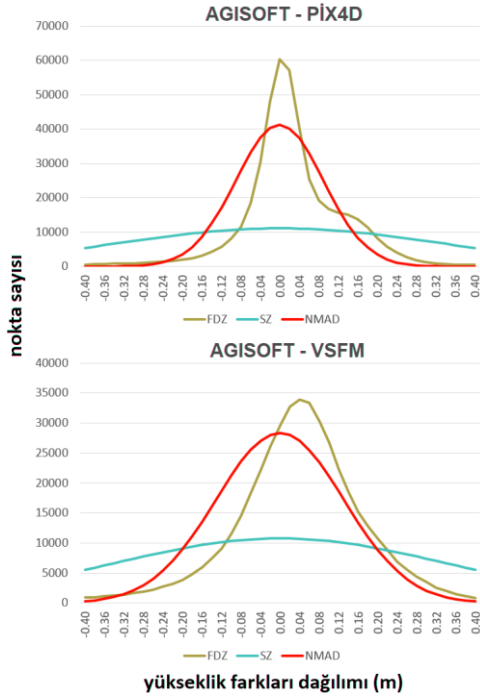


Şekil 7. Agisoft, Pix4d ve VSFM nokta bulutlarından elde edilen DYM'ler

Tablo 3. Agisoft referansı ile Pix4d ve VSFM DYM'lerinin mutlak düşey uyumu ( $\alpha =$  eğim)

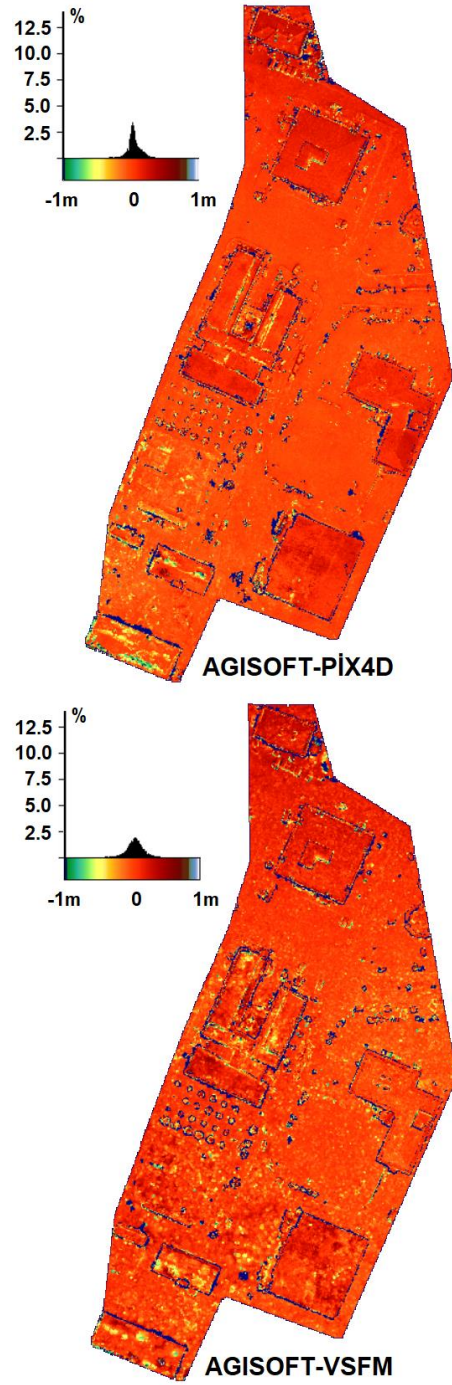
Ref. DYM	Karşılaştırılan DYM	Arazi sınıfı	Sistematik hata (cm)	STDz (m)	NMSS (m)	Hariç nokta (%)
Agisoft (0.25m)	Pix4d (0.25 m)	Tüm alan	- 4.2	$0.40+0.12 \times \tan(\alpha)$	$0.12+0.16 \times \tan(\alpha)$	0.91
		Eğimsiz alan		0.23	0.05	
	VSFM (0.25 m)	Tüm alan	- 18.4	$0.39+0.11 \times \tan(\alpha)$	$0.15+0.15 \times \tan(\alpha)$	0.89
		Eğimsiz alan		0.25	0.10	

Şekil 8, referans ve karşılaştırılan DYM'ler arasındaki yükseklik farklarının frekans, STD<sub>z</sub> ve NMSS cinsinden dağılım histogramını göstermektedir. Agisoft-Pix4d analizinde, NMSS, STD<sub>z</sub> 'ye nazaran frekans ile daha iyi bir eşleşmeye sahiptir ve yükseklik farklarının modu, tam bir tutarlılığı gösteren sıfır civarındadır. Bununla birlikte, yaklaşık 0.16 m'de, anormal bir dağılımı gösteren ikinci bir mod bulunmaktadır. Bu ikinci mod, tek demet uçuşundan üretilen alanın etkisi ile oluşmuştur. Öte yandan, Agisoft-VSFM grafiğinin yapısı tamamen farklıdır. Yükseklik farklarının modları frekans, STD<sub>z</sub> ve NMSS için değişmektedir. STD<sub>z</sub> ve NMSS zirvelerinin sıfır olduğu yerlerde, frekans 0.06 m civarındadır. Çizgilerin yapıları normal bir dağılımı göstermektedir ve Pix4d'ye nazaran daha simetriktir. Ancak, dağılımın genişliği, Pix4d'ye göre referans DYM ile daha düşük mutlak düşey uyum olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Frekans, STD<sub>z</sub> ve NMSS olarak yükseklik farklılıklarının dağılım histogramı

Şekil 9, ± 1 m yükseklik farkı ölçekli Agisoft DYM referansı ile Pix4d ve VSFM DYM'lerin düşey uyum haritalarını göstermektedir. Turuncu renkli alanlar neredeyse tam tutarlı parçaları, koyu maviler ise en düşük tutarlı alanları temsil etmektedir. Uyum haritaları, Pix4d DYM'nin referans Agisoft DYM ile daha uyumlu olduğunu göstermektedir. Özellikle bina çatılarında ve bitki örtüsünde VSFM DYM'nin uyumu Pix4d'den daha düşüktür. Her iki DYM için de, en düşük uyumlu bölümler enterpolasyon etkisi ile doğruluk kaybının maksimum olduğu nesne kenarlarıdır.



Şekil 9. Pix4d ve VSFM DSM'leri uyum haritaları

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, SFM-tabanlı yeni nesil görüntü eşleştirme yazılımları Agisoft, Pix4d ve VSFM'in 3B sonuç ürün performansları değerlendirilmiştir. Seçilen uygun bir çalışma alanında, DJI Phantom IV optik İHA ile 12 megapiksel çözünürlüklü hava fotoğrafları alınmış ve incelenen yazılımlar ile yüksek çözünürlüklü nokta bulutları elde edilmiştir. Agisoft ve Pix4d benzer sayıda noktaya sahipken, VSFM'in aynı sayıda hava fotoğrafı ile onda bir sayıda nokta ürettiği tespit edilmiştir. Pix4d ve VSFM nokta bulutlarında, tek demet uçuşlu bölümlerde bazı dikkate değer boşluklar oluşmuştur. YKN sonuçları ve görsel bulut değerlendirmeleri sonucunda Agisoft



verisi DYM uyum analizleri için referans olarak seçilmiştir.

DYM üretimleri 25 cm orijinal grid aralığında yapılmış ve daha az sayıda nokta kullanıldığından, VSFM DYM'nin topoğrafik tasvir potansiyelinin diğerlerinden daha zayıf olduğu görülmüştür. Mutlak düşey uyum sonuçları, Pix4d ve VSFM DYM'lerin Agisoft DYM ile benzer mutlak düşey uyuma sahip olduğunu göstermiştir. Her iki DYM'nin NMMS sonuçları STDz'den daha iyidir, bu da genel detaylar için kalitelerin Agisoft'a çok yakın olduğu anlamına gelmektedir. Ancak STDz sonuçları minör yükseklik farklılıklarının yoğun olarak bulunduğu işaretler. Sonuçlar incelendiğinde, Pix4d DYM'nin Agisoft ile daha uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle bina çatılarında ve bitki örtüsünde VSFM DYM'nin uyumu Pix4d'den daha düşüktür. En düşük uyum bölümleri ise her iki DYM için de enterpolasyon etkisi ile doğruluk kaybının maksimum olduğu nesne köşeleridir.

Genel olarak, görsel ve istatistiksel sonuçlar belirlenen çalışma alanı karakteristiklerinde, Pix4d nokta bulutları ile üretilen DYM'nin referans Agisoft DYM ile daha uyumlu olduğunu ve VSFM DYM'nin performansının Pix4d ve Agisoft'tan daha düşük olduğunu kanıtlamıştır. Ancak elde edilen sonuçların Agisoft DYM referanslığında olduğu unutulmamalıdır. Gelecek çalışmalarda, yersel lazer tarama gibi bir bağımsız referans veri ışığında elde edilebilecek karşılaştırma sonuçları çok daha net yorumlamalar yapılmasını sağlayacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklemesinden dolayı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

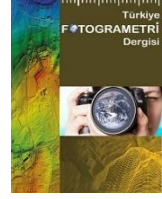
## KAYNAKÇA

- Alidoost, F. and H. Arefi. 2017. Comparison Of Uas-Based Photogrammetry Software For 3d Point Cloud Generation: A Survey Over A Historical Site. Pp. 55-61 in ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 4. Copernicus GmbH.
- Alobeid, A., Jacobsen, K., Heipke, C., 2010. Comparison of Matching Algorithms for DSM generation in urban areas from IKONOS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(9):1041-1050.
- Baltsavias, E., Gruen, A., Eisenbeiss, H., Zhang, L., Waser, T., 2008. High-quality image matching

and automated generation of 3D tree models. *International Journal of Remote Sensing* 29(5):1243-1259.

- Birdal, A. C., Avdan, U., & Türk, T. (2017). Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1144-1156. 10.1080/19475705.2017.1300608
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences*. Wiley-Blackwell, 208 sayfa. ISBN 978-1-118-89584-9
- Comert, R., Avdan, U., Gorum, T., & Nefeslioglu, H. A. (2019). Mapping of shallow landslides with object-based image analysis from unmanned aerial vehicle data. *Engineering Geology*, 260(February), 105264/j.enggeo.2019.105264
- Jiang, S., & Jiang, W. (2018). Efficient SfM for Oblique UAV Images: From Match Pair Selection to Geometrical Verification. *Remote Sensing*, 10(8), 1246. 10.3390/rs10081246
- Hartley, R. ve Zisserman, A. (2003). *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-54051-3.
- Hellerstein, J. M., 2008. Quantitative Data Cleaning for Large Databases. Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), p. 42.
- Rosnell, T., Honkavaara, E., 2012. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors* 12:453-480.
- Swatantran, A., Tang, H., Barrett, T., 2016. Rapid, high-resolution forest structure and terrain mapping over large areas using single photon lidar. *Sci Rep* 6:1-12.
- Teizer, J., Kim, C., Bosché, F., 2005. Real-time 3D Modelling for Accelerated and Safer Construction using Emerging Technology. 539-543
- Yang, Ying, Zongjian Lin, and Fengzhu Liu. 2016. Stable Imaging and Accuracy Issues of Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry Systems. *Remote Sensing* 8(4):316.
- Zongjian, Lin, Su Guozhong, and Xie Feifei. 2012. Uav-Borne Low Altitude Photogrammetry System. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B1. Melbourne (Australia).





## İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği

Abdurahman Yasin Yiğit\*<sup>1</sup>, Ali Ulvi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Belgeleme  
İHA  
Fotogrametri  
Yakutiye Medresesi  
Context Capture  
Sketchup  
3B

### ÖZ

Tarihi ve kültürel yapıların üç boyutlu (3B) bir modelinin oluşturulması ve çizimi önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle tarihi eserlerin korunması, belgelenmesi ve gelecek nesillere aktarılmasının önemi giderek artmaktadır. Belgeleme çalışmaları, dijital çağ ile birlikte büyük bir ivme kazanmıştır. Fotogrametri yöntemi, belgeleme çalışmalarında yıllarca kullanılan bir yöntemdir. Bilgisayar ve bilişim teknolojisinin gelişmesiyle klasik fotogrametri yönteminin yerini dijital fotogrametri yöntemi almıştır. Dijital fotogrametri yöntemlerinin bilgisayarlar ile gerçekleştirilmesi geleneksel yöntemlere göre maliyet ve zamandan büyük tasarruf sağlamıştır. Bu çalışmada, Erzurum ilinde bulunan Yakutiye Medresesi'nde belgeleme amaçlı fotogrametrik araştırma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan fotoğraflar insansız hava aracından (İHA) çekilmiştir. 3B model çalışması, Context Capture yazılımında fotogrametrik yöntem ile Sketchup yazılımında ise vektörel çizim olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında araziden ölçümü yapılan 10 adet kontrol noktası (Check point) kullanılarak modelin karesel ortalama hatası X,Y,Z Context Capture yazılımında sırasıyla 2.16, 2.26, 2.04 mm hesaplanmıştır. Çalışma sonunda fotogrametri tekniği uygulamalarında İHA'ların kullanımının avantajları ele alınmıştır.

## Creating a 3D Model Using UAV Photogrammetry Technique: The Example of Yakutiye Madrassah

### Keywords

Documentation  
UAV  
Photogrammetry  
Yakutiye Madrassah  
Context Capture  
Sketchup  
3D

### ABSTRACT

The creation and drawing of a three-dimensional (3D) model of historical and cultural structures has become an important issue. In particular, the importance of preserving, documenting and transferring historical artifacts to future generations is gradually increasing. Documentation studies have gained momentum with the digital age. Photogrammetry method is a method used for years in documentation studies. With the development of computer and information technology, the classical photogrammetry method has been replaced by the digital photogrammetry method. The realization of digital photogrammetry methods with computers has saved a lot of cost and time compared to traditional methods. In this study, photogrammetric research was carried out for the purpose of documentation in Yakutiye Madrasa in Erzurum. The photographs used in the study were taken from the unmanned aerial vehicle (UAV). The 3D model study was carried out by photogrammetric method in Context Capture software and as vector drawing in Sketchup software. Within the scope of the study, the mean square error of the model was calculated in the X, Y, Z Context Capture software, 2.16, 2.26, 2.04 mm, respectively, using 10 checkpoints measured from the field. At the end of the study, the advantages of UAVs in photogrammetry technique applications are discussed.

## 1. GİRİŞ

Kültürel mirasların belgelenmesinde doğru ve sağlıklı veriyi elde edebilmek için yapılan çabalar, belgeleme alanında yeni tekniklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel yöntemler yerini modern belgeleme tekniklerine bırakmıştır ve bu durum belgeleme tekniklerinin hızlı bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamıştır. Bugünkü teknoloji tarihi eserlerin ve korunacak yapıların daha hassas ve hızlı bir şekilde belgelenmesine ve gelecek nesillere aktarılmasına olanak vermektedir.

Medrese, cami, kümbet ve türbe gibi karmaşık yapıların davranışlarının belirlenmesi ve sayısal modellerinin oluşturulması oldukça zordur. Bilgisayar teknolojisinin ve yazılımların gelişmesi yapıların davranışlarının 3B modellenerek belirlenmesinde olumlu katkı sağlamıştır ve yapının sayısal modeli kolaylıkla oluşturulabilir hale gelmiştir. 3B modeller yapıya ait birçok detayı içinde bulundurmasından dolayı belgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Ulvi vd. 2019).

Fotogrametri yöntemi ile oluşturulan 3B modeller gerçek ölçü ve görüntüsünde oluşmaktadır. Fotogrametrik ölçüm sistemleri, nesnenin coğrafi referansı ile modellenmesinin yanı sıra gerçek nesne geometrisinin belirlenmesini sağlar. Buna ek olarak bu teknolojiler özellikle nesnenin gerçek görüntüsü ile işlendiği için gerçek görüntüye sahip 3B modellere olanak sunmaktadır (Ulvi vd. 2020; Şenol & Kaya 2019).

Fotogrametri her büyüklükteki objenin detaylı çizimleri için günümüzde yaygın olarak kullanılan, tek veya çok fotoğraftan elde edilen, yüksek doğrulukta bilgileri içeren, üzerinde çeşitli ölçümler ve analizler yapma imkânını sunan bir teknolojidir. Çalışması yapılacak objeye ait fotoğraf verilerinin alımı sırasında kullanılan kameranın yeryüzünde sabit bir konumdan objeye yöneltilerek kullanılan fotogrametri tekniği "yersel fotogrametri" veya "yakın resim fotogrametrisi" olarak adlandırılmaktadır. Yersel fotogrametri tekniği; yakınına gidilemeyen fakat fotoğrafik bilgileri alınabilen objelerin ölçülmesinde, büyük veya küçük objelerin ölçümünde, sabit veya dinamik objelerin biçim ve konumlarını belirlenmesinde kullanılmasının yanı sıra nesnelerin orijinal haliyle tekrar inşasına altlık olması, kültürel mirasların belgelenmesi ve arşivlenmesi gibi çeşitli çalışmalarda avantaj sağlamaktadır.

Yersel fotogrametri özellikle 3B belgeleme çalışmalarında sıkça kullanılmasına rağmen özellikle bazı yapıların üst cephelerinin fotoğraflarının çekilememesinden dolayı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi konusunda İHA gibi taşıyıcı platformlarının kullanılması önemli avantajlar sağlamaktadır. İHA'ların bu amaçla kullanılması sonucunda İHA fotogrametrisi tabiri ortaya çıkmıştır.

İHA fotogrametrisi, genel olarak bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş

fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametri sürecidir. Bu bağlamda fotogrametri özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri ile hem yersel hem İHA bazlı uygulamaları ile mimari, arkeolojik ve tarihi eserlerin 3B modelleme çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir.

Günümüzde bina bazlı modellemede yersel fotogrametri, alan bazlı modelleme de İHA bazlı fotogrametrik uygulamalar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede tarihi, antik ve arkeolojik yerleşim alanları kayıt altına alınarak zamanın, doğanın ve insanın olumsuz etkilerine karşı dokümantasyon yapılmaktadır (ASRİ & Çorumluoğlu 2014).

Gelişen teknoloji ile birlikte İHA'lar fotogrametrik teknikler ile birlikte kullanılmaya başlanmış ve 3B modellemeye yeni bir ivme kazandırmıştır. Günümüzde 3B modeller eğitimden tutuzime, mimariden mühendislik dallarına kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Teknolojinin sunduğu bu yeniliği (İHA vb. platformlar) tarihi eserlerin ölçümünde ve modellenmesinde kullanılarak klasik yöntemlere entegre edilmesi gerekmektedir. Birçok alanda kullanılmaya başlanılan İHA'lar artık bina vb. nesnelerin deplasmanlarını izlemek için ve 3B model ile belgeleme çalışmalarında farklı disiplinlerce kullanılmaya başlanılmıştır.

Çoğu araştırmacı İHA fotogrametrisi üzerinde çalışmalar yapmış ve konu için çeşitli yaklaşımlar geliştirmiştir (Rau vd. 2011; Çelik vd. 2020; Öztürk vd. 2017). İHA fotogrametrisi kullanılarak tarihi eserlerin 3B model ile belgelenmesi alanında çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Ulvi ve Yakar (2010) çalışmalarında Knidos antik tiyatrosunun fotogrametrik bir yöntemle belgelemesini yapmışlardır. Çalışmanın gelecekteki olası restorasyon faaliyetleri için hassasiyet sağlayacağından belirtmişlerdir. Çalışmada uçurtma kullanılarak yapıya ait havadan fotoğraflar çekilmiştir. Elde edilen verilerin, restorasyon ve dokümantasyon faaliyetlerinde kullanılacağından bahsetmişlerdir. Ayrıca bu çalışma, günümüz İHA teknolojileri ile yapılan 3B belgeleme çalışmalarına ışık tutmaktadır.

Sauerbier ve Eisenbeiss (2010) çalışmalarında arkeolojik kazıları belgelemek için İHA uygulamasını araştırmışlardır. Kazıların dinamik süreçler olması ve bu nedenle elde edilecek nesnelerin birkaç saat içinde önemli ölçüde değişmesi nedeniyle İHA'lar gibi araçların ölçüm bandı ve takimetre gibi geleneksel ölçüm yöntemlerine uygun bir alternatif sağlayabileceğinden bahsetmişler. Çalışma sonunda İHA gibi taşıyıcı platformların kullanılması sürecin önemli miktarda hızlanmasına katkı sağladığını tespit etmişler.

Pan vd. (2020) çalışmalarında, Çin'de bulunan iki adet tarihi köprülerinin 3B dijital dokümantasyonunda İHA fotogrametrisi kullanarak yapısal model rekonstrüksiyon yönteminin potansiyelini göstermişlerdir. Nokta bulutlarının

yeniden yapılandırma hatasını %0,4 gibi düşük bir değerde hesaplamışlardır.

Jo ve Hong (2019) çalışmalarında, Koredeki Magoksa Tapınağı'nın 3B modelini oluşturmak için yersel lazer tarama ve İHA fotogrametrisinin bir kombinasyonunu kullanmaya odaklanmışlardır.

Bakırman vd. (2020) çalışmalarında tarihi binanın belgeleme çalışmasını yapmışlardır. Belgeleme çalışmasında donanım olarak İHA ve çok hafif drone (Ultra Light Drone/ULD) kullanmışlardır. Yapının nokta bulutu üretilme aşamasında SfM yöntemi kullanılmıştır. İHA ve ULD ile üretilen nokta bulutu yersel lazer tarama verileriyle karşılaştırılmıştır. Maksimum standart sapmalar, İHA ve ULD için sırasıyla 0.62 cm ve 1.87 cm olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma ise; tarihi Yakutiye Medresesi'nin, hassas ölçüm teknikleri ve fotogrametrik yöntem kullanarak belgeleme çalışmasını içermektedir. Çalışma kapsamında medreseye ait detay ölçümler yapılmış ve fotoğraflar İHA yardımıyla çekilmiştir. İHA fotogrametri yöntemi kullanılarak medresenin 3B modeli Context Capture yazılımında, vektörel çizimi ise Sketchup yazılımında yapılmıştır. Çalışma sonunda 3B modelin hassasiyet araştırması incelenmiş ve fotogrametri tekniğinin avantajlarından bahsedilmiştir.

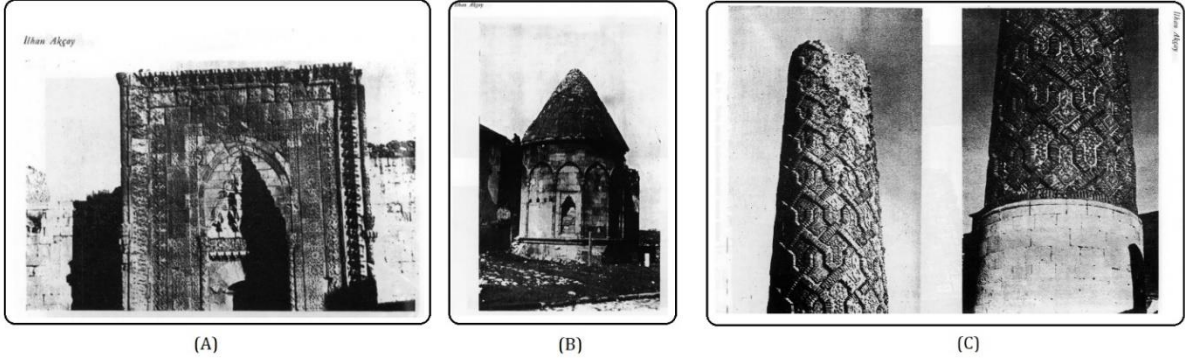
## 2. BELGELEMENİN ÖNEMİ ve ÇALIŞMA ALANI

Günümüzde tarihi ve kültürel mirasların belgelenmesi ve gelecek nesillere aktarılması insanlık tarihi için önemli konulardan biridir. Bunların korunması ve restore edilebilmeleri için belgeleme çalışmalarının yapılması ve dijital platformlarda kültürel miras arşivinin oluşturulması gerekmektedir (Yakar vd. 2015).

Kültürel miraslar ile her insan farkında olmadan bir bağlantı içerisindedir. Çünkü bu miraslar sayesinde elde edilen veriler, binlerce yıl önce yaşamış olan atalarımızın hangi coğrafyada yaşadığından nasıl hayatlarını devam ettirdiğine kadar birçok bilgiyi içerisinde barındırmaktadır. Konargöçer toplumlardan tutun yerleşik hayata geçmiş insanların ilk yaptıkları şey barınmak için bir yer inşa etmektir. Mimari yapıları veya temel yaşam ihtiyaçları gidermek için kullandıkları tüm çanak çömleklerden mimari eserlere kadar bu toplumlara ait izler görebilmek mümkündür.

Bu çalışmada belgeleme yapılan Yakutiye Medresesi her detayında birçok tarihi olay barındırmaktadır.

1965 yılında Vakıflar Dergisi'nde İlhan Akçay'ın Yakutiye Medresesi hakkında yazdığı makalesinde medreseye ait Şekil 1'deki görüntüleri paylaşmıştır.



Şekil 1. Yakutiye Medresesi: Taç kapı (A) - Arka silindirik kubbe (B) - Ön giriş (C).

Şekil 2'de söz konusu medreseye ait 2010 ve 2020 yıllarına ait görüntüler verilmiştir.

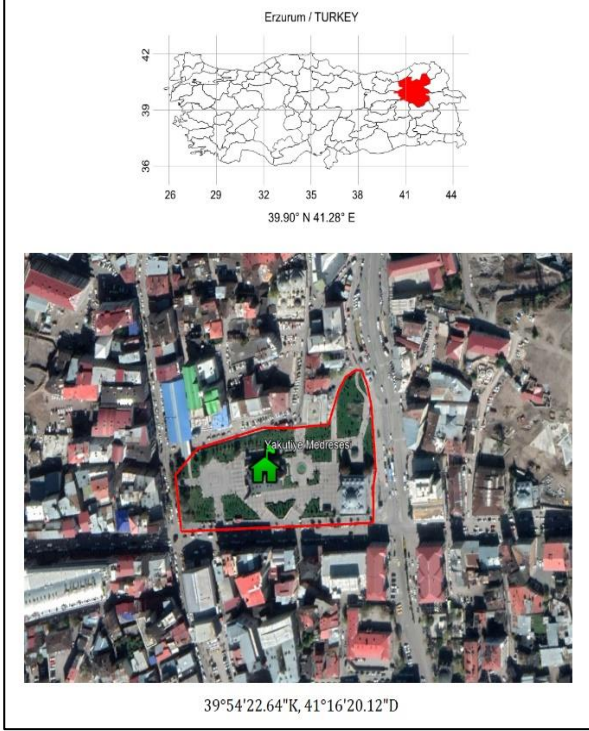


Şekil 2. Yakutiye Medresesi genel görünüm (a) 2010 yılı - (b) 2020 yılı

Görüntüler incelendiğinde 2010 yılına kadar medresenin büyük değişim yaşadığı ve restorasyon geçirdiği anlaşılmaktadır. Son on yılda ise eserin az yıprandığı ancak üst cephesinde bazı kaplamaların yapıldığı görülmektedir. Bu yüzden özellikle doğal ya da doğal olmayan sebeplerden dolayı eserlerde

meydana gelecek tahribatların daha iyi izlenebilmesi ve eserlerin orijinal hali gelecek nesillere aktarılabilmesi için belgeleme çalışmaları önem arz etmektedir.

## 2.1. Çalışma Alanı



Şekil 3. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Şekil 3'te konum bilgileri gösterilen Erzurum ilindeki Yakutiye Medresesi seçilmiştir. Yakutiye Medresesinin güncel genel görünümü ise Şekil 2 (b)'de gösterilmiştir.

Yakutiye Medresesi, 14. yüzyılda, Emir Cemaleddin Yakut (Khwaja Yaqut) tarafından, İlhanlı hükümdarı Olcayto zamanında yapılmıştır (Kocaman vd. 2018).

1965 yılında Vakıflar Dergisi'nde İlhan Akçay'ın Yakutiye Medrese'si hakkında yazısında; 1853-54 yıllarında Erzurum'a gelen Curzon'un medrese hakkında verdiği bazı bilgileri derlemiştir. Yazısında, mevcut minareye sağ taraftaki odada bulunan taş merdivenden çıkılarak damdan girildiğine ve o zaman ki izlere göre minarenin şerefe kısmı mevcut gövdenin üst hizasında başladığından bahsetmiştir. Ayrıca Şekil 1(c)'de görüldüğü üzere bu minarenin kuzey kısmının çok zarar gördüğünden bahsetmiştir.

Medrese, üstü kapalı bir avluda bulunan dikdörtgen bir yapıdır. Ana giriş binanın batı tarafında anıtsal bir portaldan geçmektedir. Portal, mukarnas davlumbazının üstündeki sığ bir kemerli çift kapıdan oluşur. Batı cephesinin her iki ucunda konik bir çatı ile çevrili silindirik bir kule yükselmektedir. Güney ucunda bulunan kule daha ince ve daha uzundur. Ayrıca bu kule tuğladan anıtsal bir kayış motifiyle süslenmiştir. Kuzey ucundaki kule daha kısa ve daha geniştir ve dekorasyondan yoksundur. Medresenin dış hatları sekizgen mezar kulesi kör kemerler ve konik bir çatı ile dekore edilmiştir (Sinclair 1989).

## 3. MATERYAL

Çalışma, saha ve ofis çalışması olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmiştir.

Saha çalışmasında hassas ölçümler yapılır ve fotoğraf verileri toplanır. Ofis çalışmasında ise toplanan veriler değerlendirilir.

3B modellemesi yapılacak olan eserin hassas ölçümleri Şekil 4'te gösterilen Total-Station ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de ise Total-Station cihazına ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 4. TOPCON KS-102

Tablo 1. KS-102 Total-Station teknik özellikleri

Özellik	Değer
Reflektörlü mesafe	2300m
Reflektörsüz mesafe	230m
Mesafe hassasiyeti	2mm + 2ppm
Batarya süresi	14 saat
Türkçe menü	✓
Yol programı	✓
Geriden kestirme	✓
En kesit & Alan hesabı	✓

Fotoğraflar Şekil 5'te gösterilen Phantom 3 PRO İHA ile çekilmiştir. Tablo 2'de ise İHA'ya ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 5. Phantom 3 Pro İHA (DJI, 2019)

Tablo 2. Phantom Pro 3 teknik özellikler (DJI, 2019)

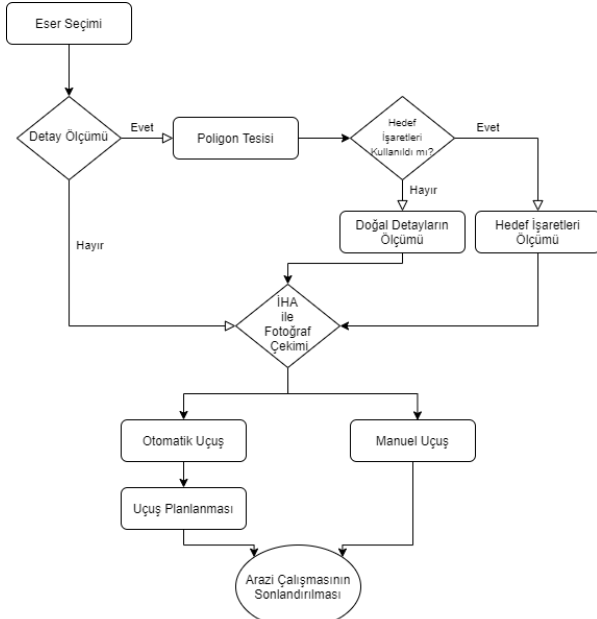
Özellik	Değer
Ağırlık	1280 g
Çapraz Boyut	350 mm
Maksimum Çıkış Hızı	5 m/s
Maksimum İniş Hızı	3 m/s
Max hız	16 m/s
Maksimum Eğim Açısı	35°
Maksimum Uçuş Süresi	Yaklaşık 23 dakika
Uydu Konumlandırma Sistemleri	GPS/GLONASS
Sensor boyutu	1/2.3"
Lens	20 mm

Yazılım olarak Context Capture kullanılmıştır. Context Capture yazılımının tercih edilme sebepleri bulgular kısmında aktarılmıştır.

## 4. YÖNTEM ve UYGULAMA

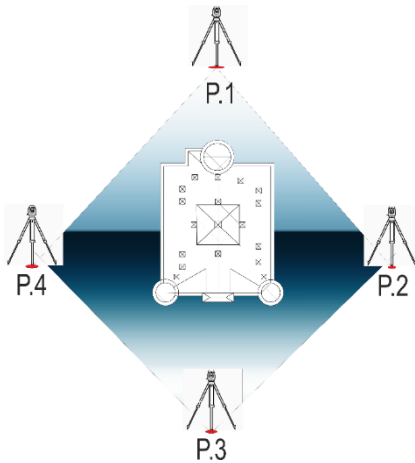
### 4.1. Arazi Çalışması

Arazi çalışmasına ait iş akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Arazi iş akış diyagramı

Arazide ilk olarak esere ait detay noktaları ölçülmüştür. Bu amaçla medresenin etrafına Şekil 7'de gösterildiği gibi poligon noktaları tesis edilmiştir. Açık ve mesafe ölçüleri; Total-Station ile düşey açı, yatay açı, eğik mesafe ölçülmüş ve hesaplamalar sonucu koordinatlar elde edilmiştir.



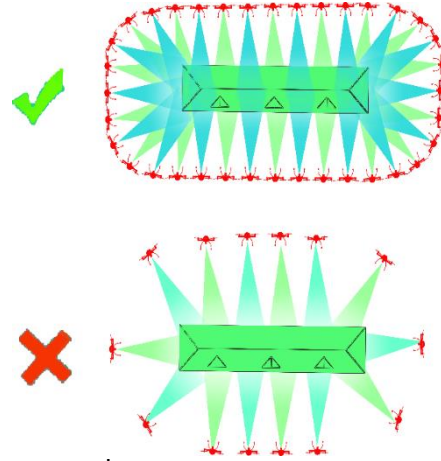
Şekil 7. Yakutiye Medresesi etrafına tesis edilen poligonlar

Poligonların konum doğrulukları en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmıştır. İstatistik güven düzeyi  $1-\alpha=0.95$  alınmıştır ve konum doğrulukları 0.3 cm'yi geçmemektedir.

Detay noktaları, objeye ait doğal keskin hatlardan ve karakteristik özelliklerini barındıran noktalardan seçilmiştir. Bu veriler, öncelikle yazılımda fotoğrafların birleştirilme aşamasında

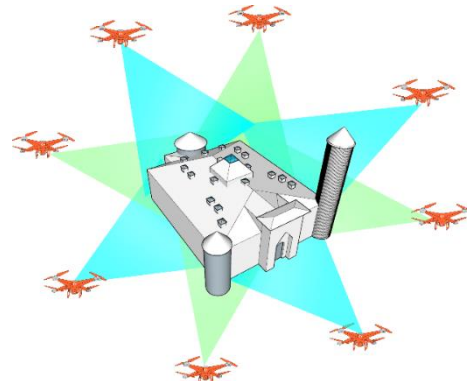
referans olması amacıyla temin edilmiştir. Ayrıca noktaların konum doğruluğunun irdelenmesi amacıyla bu detay noktalarına ihtiyaç vardır. Yapı üzerinde homojen olarak dağılmış 40 adet detay noktası belirlenmiştir. Bu noktalardan 30 tanesi 3B modelin koordinatlandırılması işleminde, 10 tanesi de doğruluk analizinde kullanılmak üzere işaretlenmiştir.

Arazide ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra fotoğraf çekme işlemi yapılmıştır. Fotoğrafların, objeyi farklı açılardan görecektir şekilde bindirmeli olarak çekilmesine özen gösterilmiştir. Şekil 8'de İHA fotogrametrisinde fotoğraf çekiminde uyulması gereken çekim konumları gösterilmiştir.



Şekil 8. İHA fotogrametrisinde doğru fotoğraf çekimi

Fotoğraf çekimi yapılırken eserin 3B modelinin yüksek çözünürlük ve doğrulukta üretimi için uygun sayıda ve açıda, eser üzerinde işaretlenen her kontrol noktasının dört fotoğrafta görünür ve seçilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Fotoğraf sayısı 3B modeli yapılacak eserin büyüklüğüne göre değişmektedir. Çalışmada 65 adet fotoğraf çekilmiştir. Şekil 9'da medreseye ait örnek İHA konumları gösterilmiştir. İHA ile fotoğraf çekim işlemi, manuel ve yapıyı tam olarak çevrelemesine dikkat edilerek sıralı bir şekilde eğik çekimler yapılmıştır. Fotoğraf bindirmeleri uçuş ekranından takip edilerek manuel ayarlanmıştır. Uçuş yüksekliği sabit tutulmayıp yapıyı tam kapsayacak yükseklikten çekimler yapılmıştır.



Şekil 9. Örnek İHA fotoğraf çekim konumları

## 4.2. Ofis Çalışması

Fotogrametrik değerlendirme ve Yakutiye Medresesinin 3B modelini oluşturulma işlemleri için Context Capture yazılımı kullanılmıştır.

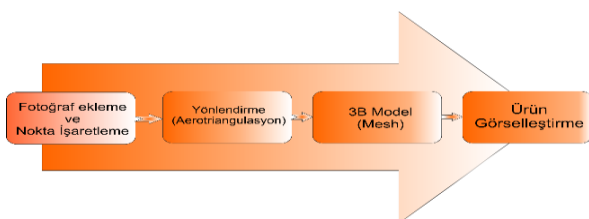
İlk olarak, arazide ölçülen açılardan hesap yapılarak lokal koordinatlar elde edilmiştir. Daha sonra Context Capture yazılımında 3B modelleme işlemine geçilmiştir.

Fotogrametrik değerlendirme yazılımları 3B modelleme çalışmaları için önemi büyüktür. Ticari olarak kullanılan pek çok yazılım günümüzde kullanılmaktadır. Fakat yapılacak olan çalışmanın içeriğine göre fotogrametrik yazılım seçimi büyük önem arz etmektedir. Her bir yazılımın ön plana çıkmış yetenekleri bulunmaktadır. Burada en önemli hususlar; sonuç ürünün kalitesi ve işlemlerin kaç aşamada ve ne kadar sürede yapılacağıdır. Context Capture yazılımı Context Capture Master ve Context Capture Engine olmak üzere iki destekçi yazılım ile çalışmaktadır. Bu çalışmada diğer yazılımlara göre daha yoğun bilgi içeren sonuç ürünleri kısa sürede ve hassas bir şekilde verebilmesi sebebiyle Context Capture yazılımı tercih edilmiştir.

Context Capture yazılımı, Context Capture Master ve Context Capture Engine olmak üzere iki destekçi yazılım ile çalışmaktadır.

ContextCapture Master, ContextCapture yazılımının ana modülüdür. Bir grafik kullanıcı arabirimi aracılığıyla şunları yapmanızı sağlar: Veri kümelerini içe aktarma, process ayarlarını tanımlama, görevleri gönderme ve izleme, sonuçları görselleştirme vb. gibi. ContextCapture Master işleme görevlerini gerçekleştirmez. Bunun yerine, görevleri bir iş kuyruğuna sunduğu temel işlere ayırır. ContextCapture Master'ın ana ara yüzü, bir proje aracılığıyla ContextCapture iş akışının farklı adımlarını yönetir.

ContextCapture Engine ise, ContextCapture yazılımının arka planda çalışan modülüdür. Kullanıcı etkileşimi olmadan arka planda bir bilgisayarda çalışır. ContextCapture Engine, GPU önceliğine ve gönderim sırasına bağlı olarak kuyrukta bekleyen bir işi alır ve yürütür. Bu işler genellikle; bağlama noktaları (keypoint) çıkarma, otomatik bağlantı noktası eşleme, ışın demeti dengeleme, yoğun görüntü eşleme, 3B rekonstrüksiyon, doku haritalama, doku eşleme, ayrıntı düzeyi oluşturma gibi işlemlerdir. ContextCapture Engine, grafik işlem birimlerinde (GP-GPU) genel amaçlı hesaplamaların kapsamlı bir şekilde kullanılmasını sağlar. Her Engine işlemi tek bir GPU'dan yararlanabilir. Bu sayede çoklu projeler kolaylıkla yapılabilir.



Şekil 10. Context Capture iş akışı

ContextCapture için iş akışı temel anlamda şekil 10'da gösterildiği gibidir. Projede kullanılacak tüm fotoğraflar içe aktarılır. Fotoğrafları toplamak için kullanılan kameranın sensör boyutu ve odak uzunluğu otomatik olarak kütüphaneden tanımlanır. Eğer tanımlanmazsa manuel olarak tanımlanması gereklidir. Ardından, fotoğraflardaki kontrol noktaları işaretlenir. Kontrol noktaları, modelin coğrafi referanslandırmanın yanında doğruluğu için de kullanılır.

Yazılımda ilk olarak bağlantı noktası (keypoint) fotoğraflardan oluşturulur ve yönlendirilir (Aerotriangulasyon). Yönlendirme aşamasında 30 adet nokta kullanılmıştır. Ayrıca dengelemede kullanılmayan 10 adet kontrol noktası (Check point) modelin hata değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Kullanılan 10 kontrol noktası ile hesaplanan modelin hata değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te verilen doğruluk değerleri tüm model için geçerlidir. Context Capture, 3B modeller oluşturmak için yoğun bir nokta bulutuna ihtiyaç duymaz. İstenirse, yoğun nokta bulutu Context Capture yazılımında ayrıca oluşturulabilir. Modelin yer örneklem aralığı (YÖA) 1.7 cm'dir. Denklem 1-3 ile kontrol noktaları yardımıyla hesaplanan modelin karesel ortalama hatalarını Tablo 3'te verilmiştir.

$$SXO = \sqrt{\frac{V_x V_x}{n-1}} \quad (1)$$

$$SYO = \sqrt{\frac{V_y V_y}{n-1}} \quad (2)$$

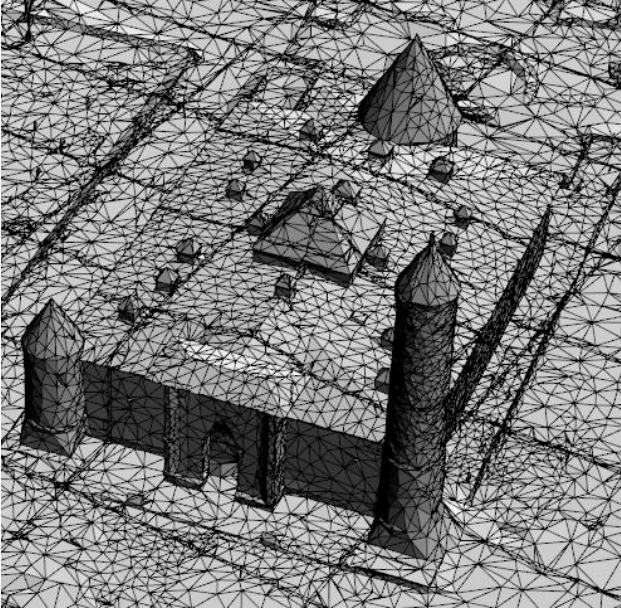
$$SZO = \sqrt{\frac{V_z V_z}{n-1}} \quad (3)$$

Tablo 3. Modelin karesel ortalama hataları

Konum	Değer (m)
X	0.00216
Y	0.00226
Z	0.00204

Yönlendirme (Aerotriangulation) işleminden sonra 3B model üretimi için yeniden yapılandırma (New Reconstruction) yapmak gerekir. Yeniden Yapılandırma aşamasında, RAM alanını korumak için alanların ayrı ayrı işlenmesini sağlayan Adaptive Tiling kullanılması GPU performansını artıracaktır. Adaptive Tiling ile hedef RAM'i karşılamak için yeniden yapılandırma kutulara ayrılır ve bilgisayarın daha rahat çalışması sağlanır.

Son olarak, 3B üçgen modeli oluşturmak için süreç başlatılır. Üretilen üçgen model Şekil 11'de gösterilmiştir. 3B katı model ise Şekil 12'de gösterilmiştir. 3B üçgen model ve katı model ile birlikte gerçek doku kaplanmış 3B model de üretilmiştir. Üretilen 3B model Şekil 13'te gösterilmiştir. Context Capture yazılımında gerçek dokuya ve ölçeğe sahip 3B model elde edildikten sonra Sketchup yazılımında geometrik şekiller çizerek 3B model üretilmiştir. Sketchup yazılımında çizilen 3B model Şekil 14'te gösterilmiştir.



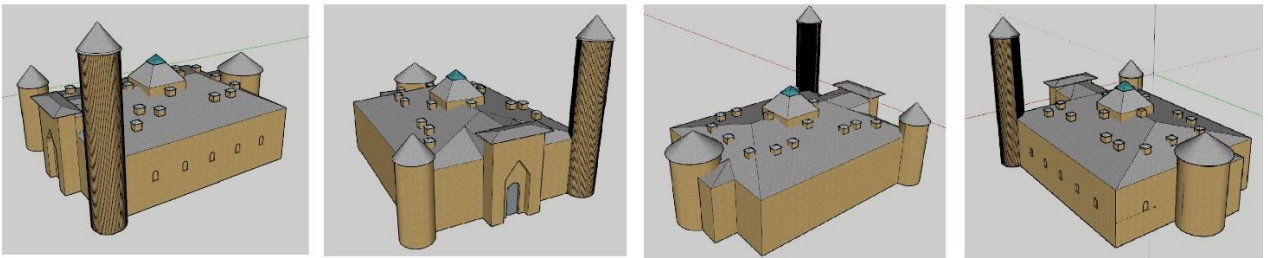
Şekil 11. 3B üçgen model



Şekil 12. 3B katı model



Şekil 13. Context Capture yazılımında elde edilen 3B model



Şekil 14. Sketchup yazılımında çizilen 3B katı model

## 5. TARTIŞMA VE BULGULAR

Fotogrametri yöntemi; tarihi eserlerin onarılmasında, nihai formun görülmesinde, cephe yüzeylerinin ve iç mekânların yenilenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotogrametri yöntemi ile 3B belgeleme çalışmaları sürecin hızlanmasına olumlu katkıda bulunmaktadır. Fotogrametri yöntemi ile bu süreci işleyen literatürde çeşitli yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımların birbirlerine göre avantajları ve

dezavantajları vardır. Context Capture yazılımının çalışmada tercih edilmesindeki en önemli etken, üretilen 3B modelin daha gerçekçi dokuda oluşmasına imkân sağlamasıdır. Ayrıca 3B model ile belgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan Agisoft PhotoScan ve Pix4d gibi yazılımlar yoğun nokta bulutu üretir ve üretilen nokta bulutu ile 3B model yapılmaktadır (Yakar vd., 2016). Context Capture yazılımı ise yoğun nokta bulutu üretmeye ihtiyaç duymamaktadır. Bu durum ofis çalışma süresini azaltmaktadır (Eğer istenirse nokta bulutu üretilebilmektedir).



3B belgeleme çalışmalarında esere ait modelin doğruluğu rekonstrüksiyon çalışmalarına altlık oluşturması açısından önem arz etmektedir. Bir çalışmanın doğruluğu Tablo 4'te belirtilen hata payları dahilinde projenin ölçeğine uygun olmalıdır (English Heritage 2003; Korumaz vd. 2011).

**Tablo 4.** Proje ölçeği ve doğruluğu (English Heritage, 2003).

Ölçek	Kabul edilebilir hatalar (cm)
1/10	+/- 0.5
1/20	+/- 0.6
1/50	+/- 1.5
1/100	+/- 3
1/200	+/- 6
1/500	+/- 15

Bu çalışmada karesel ortalama hatalar RMSEX: 0.216 cm, RMSEY: 0.226 cm, RMSEZ: 0.204 cm olarak bulunmuştur. Tablo 4 incelendiğinde bulunan karesel ortalama hatalar hata sınırı içinde kaldığı görülmektedir. Bu durum fotogrametri yönteminin yukarıda bahsi geçen çalışmalar için uygun olduğunu göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR

Son yıllarda kültürel mirasın belgelenmesinde 3B modellemelerden faydalanılmaktadır. Doğru bir şekilde yapılan 3B modeller üzerinden nesnelereki değişimleri (deformasyon) süreç içerisinde inceleme şansı olmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntüler; genellikle kültürel mirasın korunması ile ilgili küçük özelliklerin tespiti, yorumlanması ve ölçülmesi için gereklidir.

İHA aracılığıyla üretilen fotogrametrik ürünler; yersel tabanlı detaylı arkeolojik çalışmalara, yeniden yapılanmalara ve takip çalışmaları için gerekli bilgi ve belgelere duyulan ihtiyacı karşılamak için kullanılabilir.

İHA kullanımı geliştikçe online platformlarda eserlerin hızlı bir şekilde sergilenmesine yönelik uygulamalar, kültürel miras alanlarını belgeleme ve görselleştirme yeteneklerini geliştirebilir. Günümüzdeki donanım, yazılım ve gelişen sensör paketleri; hassas İHA ile birleştiğinde kültürel mirasın korunmasına faydalı olacaktır. 3B modeller oluşturmak için İHA teknolojisini kullanan fotogrametrik yaklaşım, bu tür kültürel miras alanlarını korumak için diğer modern tekniklere kıyasla düşük maliyetli ve hızlı bir tekniktir.

Çalışmada İHA fotogrametri tekniği kullanılarak 3B belgeleme çalışması yapılmıştır. Çalışma sonunda oluşturulan modelin doğruluk değerleri Tablo 4 incelendiğinde 3B model ile belgeleme çalışmasına uygundur. Ayrıca Tablo 3' incelendiğinde kontrol noktaları yardımıyla hesaplana modelin karesel ortalama hatalarını hata sınırı içerisinde.

## KAYNAKÇA

- Akçay İ (1965). Yakutiye Medresesi, *Vakıflar Dergisi*, 6, 146-152.
- Bakirman T, Bayram B, Akpınar B, Karabulut M F, Bayrak O C, Yigitoglu A & Seker D Z (2020). Implementation of ultra-light UAV systems for cultural heritage documentation. *Journal of Cultural Heritage*.
- Çelik Ö M, Yakar İ, Hamal S, Oğuz G & Kanun E (2020). Sfm Tekniği ile Oluşturulan 3B Modellerin Kültürel Mirasın Belgelenmesi Çalışmalarında Kullanılması: Gözne Kalesi Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 22-27.
- DJI (2011). <https://www.dji.com/phantom-3-pro/info>, Erişim tarihi: 08.04.2020.
- English Heritage (2003) Metric Survey for Heritage Documentation, Documentation for Conservation: A Manual for Teaching Metric Survey Skills. <https://www.english-heritage.org.uk/>, Erişim Tarihi: 17.02.2020.
- Jo Y H & Hong S (2019). Three-Dimensional Digital Documentation of Cultural Heritage Site Based on the Convergence of Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *International Journal of Geo-Information ISPRS*, 8(2).
- Kocaman İ, Kazaz İ & Okuyucu D (2018). Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20 (58), 36-51.
- Korumaz G A, Dülgerler O N & Yakar M (2011). Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (3), 63-86.
- Öztürk O, Bilgilioğlu B B, Çelik M F, Bilgilioğlu S S & Raşit U (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortofoto Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2(3), 135-142.
- Pan Y, Dong Y, Wang D, Chen A & Ye Z (2019). Three-dimensional reconstruction of structural surface model of heritage bridges using UAV-based photogrammetric point clouds. *Remote Sensing*, 11(10), 1204.
- Rau J Y, Jhan J P, Lo C F & Lin Y S (2011). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, (1/C22), 195-200.
- Sauerbier M & Eisenbeiss H (2010). UAVs for the documentation of archaeological excavations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 526-531.
- Sinclair T A (1989). Eastern Turkey: Mimari ve Arkeolojik Bir Araştırma, *Londra: Pindar Yayınları*, 2, 197-200.
- Şenol H İ & Kaya Y (2019). İnternet Tabanlı Veri Kullanımıyla Yerleşim Alanlarının Modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.

Ulvi A & Yakar M (2010). An experimental study on preparing photogrammetric rolove plans of antique theatres. *International Journal of Physical Sciences*, 5(7), 1086-1092.

Ulvi A, Yakar M, Yiğit A & 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.

Ulvi A, Yakar M, Yiğit A Y & Kaya Y (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak

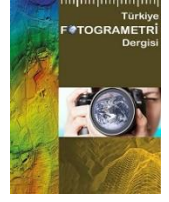
Aksaray Kızıl Kilisenin 3B Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26.

Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkkıkcı K, Kaya Y & Catin S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.

Yakar M, Orhan O, Ulvi A, Yiğit A Y & Yüzer M M (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.



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



## Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi

Nizar Polat<sup>1</sup>, Mehmet Önal<sup>1</sup>, Fred Barış Ernst<sup>1</sup>, Halil İbrahim Şenol<sup>1\*</sup>, Abdulkadir Memduhoğlu<sup>1</sup>, Semih Mutlu<sup>1</sup>, Süheyla İrem Mutlu<sup>1</sup>, Mehmet Ali Budan<sup>1</sup>, Mutalip Turgut<sup>1</sup>, Hüseyin Kara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Fotogrametri  
Yersel Fotogrametri  
3 Boyutlu Modelleme  
Arkeoloji  
Harran

### ÖZ

Antik yerleşimler ve tarihi eserler açısından Türkiye'nin en zengin illerinden biri olan Şanlıurfa, dünyanın ilk üniversitesinin bulunduğu inanan Harran antik şehrini de barındırmaktadır. Harran ilçesinde yer alan etrafı surlarla çevrili bu antik yerleşim yerinde yapılan arkeolojik çalışmalar sonucunda birçok yapı ve tarihi eser gün yüzüne çıkarılmıştır. Değişken boyutlarda bulunan eserler klasik arkeolojik yöntemlerle belgelenerek, sergilenmek veya muhafaza altına alınmak üzere Şanlıurfa Arkeoloji Müzesi envanterine alınmıştır. Klasik belgelenelerin yanında tarihi eserlerin Fotogrametrik yöntemlerle 3 boyutlu modellenerek dijital olarak ayrıntılı bir biçimde kayıt altına alınması eserlerin gelecek nesillere daha sağlıklı ulaştırılması anlamında bazı önemli avantajları da yanında getirecektir. Bu çalışmada, Harran antik kentinde arkeolojik çalışmalarla ortaya çıkarılmış çeşitli boyutlardaki arkeolojik buluntular Fotogrametrik yöntemlerle modellenmiş ve dijital olarak ayrıntılı bir biçimde kayıt altına alınmıştır. Bu modeller, sonraki çalışmalarda sanal müze ve katalog oluşturma çalışmalarında kullanılacaktır.

## 3D Modeling of Some Small Archaeological Finds Extracted from the Harran Ruins Archaeological Excavation Site with Photogrammetry Technic

### Keywords

Photogrammetry  
Terrestrial Photogrammetry  
3-Dimensional Modelling  
Historical Artifact Modelling

### ABSTRACT

Şanlıurfa is one of Turkey's richest province in terms of ancient settlements and historical monuments and it is also home to the ancient city of Harran which is believed to host the world's first university. Many structures and historical artifacts were unearthed as a result of the archaeological studies carried out in this ancient settlement surrounded by walls in Harran district. Historical artifacts of varying sizes have been documented by classical archaeological methods and taken into the inventory of the Şanlıurfa Archeology Museum for exhibition and protection. In addition to classical documentation, 3D modeling of historical artifacts with photogrammetric methods and digitally recording will bring some important advantages in terms of delivering the artifacts to future generations in a sensible way. In this study, historical artifacts of various sizes unearthed in archaeological studies in the ancient city of Harran were modeled with photogrammetric methods and digitally recorded in detail. These models will be used in future studies to create virtual museums and catalogs.

### \*Sorumlu Yazar

(nizarpolat@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6061-7796  
(monal@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-5182-4443  
(f.b.ernst@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7568-2582  
(hsenol@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0235-5764

### Kaynak Göster:

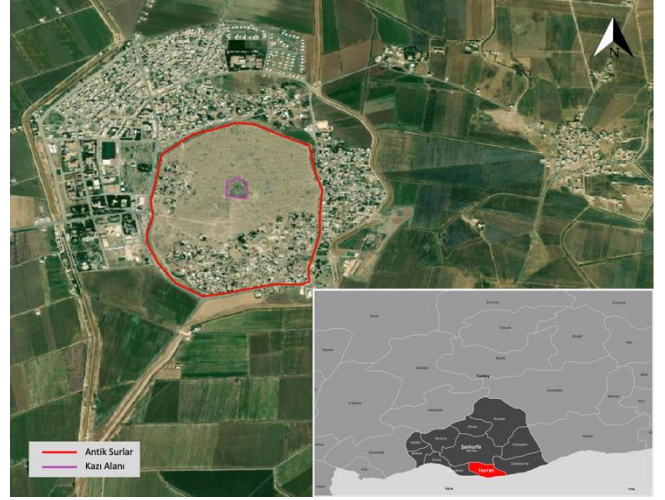
Polat N, Önal M, Ernst F B, Şenol H I, Memduhoğlu A, Mutlu S, Mutlu S İ, Budan M A, Turgut M & Kara H (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2(2), 55-59

## 1. GİRİŞ

Fırat ve Dicle nehirleri arasında, Bereketli Hilal olarak bilinen Güneydoğu Anadolu Toroslarının eteklerinde yer alan Şanlıurfa'nın tamamında çok sayıda kültür eseri bulunmaktadır. Tarihte belirli dönemlerin izlerini taşıyan arkeolojik alanlar burada yaşayan medeniyetlerin yaşam tarzları hakkında bilgi verebilir. Şanlıurfa ilinin Harran ilçesinde arkeolojik alanda çalışmalar yapılmış olup, dünyanın ilk üniversitesinin yanı sıra antik bir şehir ve daha birçok kalıntı ortaya çıkarılmıştır. Harran, ay, güneş ve gezegenlerin kutsal kabul edildiği Mezopotamya'nın önemli bir merkeziydi. Bu nedenle Harran'da astronomi çok ilerlemiştir. Dünyadaki üç büyük felsefe okulundan biri Harran Okulu'dur. Tipik Harran evleri, höyükler, kale surları ve geceleri parlayan yıldızlar turistlerin ilgisini çekmektedir. Harran, kuzey Mezopotamya'dan batıya bağlanan önemli ticaret yollarının kesiştiği bir noktada yer almaktadır. Bu nedenle Harran geçmişte Süryani tüccarların en önemli ziyaret noktalarından biri olmuştur. Ticaret kültürünün bu gelişimi, Harran'ı geliştirmiş ve kültürel olarak zenginleştirmiştir.

Harran, insan uygarlığının çok eski bir yerleşim yeridir, duvar yapıları ve altyapısı çok uzun bir süre içinde inşa edilmiş, onarılmış, büyütülmüş veya küçültülmüştür. Eski Harran, tarihi kayıtları M.Ö. 5000 yılına kadar uzanan Yukarı Mezopotamya'da yer alan önemli bir şehirdi. Başlangıçta Sümerler ve Hititlerin kontrolü altındaydı ve daha sonra MÖ 2750 civarında bölge Semitler tarafından fethedildi. Roma döneminde (MÖ 1. yüzyıl MS 5. yüzyıl), Carrhae olarak bilinen Harran, Part İmparatorluğu ile sınır boyundaydı ve MÖ 53 yılındaki Carrhae Savaşı'nın yapıldığı yeri (Sampson., 2008; Gray vd., 2015). Şehir daha sonra Doğu Roma İmparatorluğu'nun kontrolüne geçti (o dönemde şehir Ελληνόπολις veya Κάρραι olarak biliniyordu) ve nihayet MS 750'de bölgeyi işgal eden Araplar Bizans egemenliğine son verdi. Fatimiler, Zengiler, Eyyubiler ve Selçukluların (Freely., 2011) yerleşmesinden sonra şehir 1260'larda Moğollar tarafından işgal edildi. Bu uzun süre içinde şehir gelişti ve bölgede büyük bir kentsel yığılma oldu. Şehir ve anıtları çok sayıda eski belge ve tarihi kayıtlarda yer almaktadır. 1270 yılında Moğollar Türk ordusu tarafından kovulduğunda şehir kısmen tahrip edilmişti. Cami, surlar ve kale Moğollar tarafından büyük hasar görmüştür. Buna rağmen, kale ve surların bir kısmı günümüze kadar ulaşmış, çeşitli restorasyon çalışmalarıyla eserler korumaya alınmıştır. Harran antik kenti, kazı alanı ve Şanlıurfa Harran ilçesinin konumu Şekil 1'de görülebilir.

Harran Ulu camii, İslam mimarisinin bir parçası olarak Anadolu'da inşa edilen en eski camii olarak kabul edilir. Bu camii, Cennet Camii olarak da bilinir. Son Emevî halifesi Mervan II tarafından 744-750 yıllarında yaptırılan taş ve tuğla duvar örgülü bir yapıdır (Binici vd., 2020). Camii, Dr. Nurettin Yardimer'in (Turkish Archaeonews, 2020) önderliğindeki kazılarda ortaya çıkarılmıştır. Bu kazılar şu anda kuzey ve batı kapılarının dışında da yapılmaktadır. Bugün caminin sadece küçük bölümleri ayakta kalmıştır, bunlar 33,3 m yüksekliğindeki minare, çeşme, mihrap ve doğu duvarıdır (Şekil 2).



Şekil 1. Harran antik kenti, kazı alanı ve Harran ilçesinin konumu

Ulu Camii çevresinde bulunan arkeolojik kazı alanının kuzeyindeki hamamın paralelinde kesme taştan bir duvar bulunmuştur. Bu duvarda devam eden karşıt duvarlar buraların dükkan olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu alanda bulunan seramik, cam ve metal objelerin bolluğundan dolayı buraların seramik, cam ve baharat dükkanı olduğu anlaşılmaktadır. Bu alandaki kazılar, özellikle bronz, harç ve pul gibi diğer metallerle el sanatları üretildiğini ortaya koymuştur. Üretilen malların Harran şehri ticaretinde çok önemli bir yeri vardır (Önal, 2015).



Şekil 2. Harran Ulu Camii ve çevresi arkeolojik kazı alanı (Şenol vd., 2017)

Bu çalışma, değerli ve hassas bir yapıya sahip arkeolojik sit alanlarında ortaya çıkan arkeolojik buluntuların belgelenmesinde hızlı ve buluntuya zarar vermeden belgelemenin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır. Çalışmada, Harran arkeolojik kazı alanından çıkarılmış heykel ve objeler, kültürel mirasın korunması ve belgelenmesi amacıyla fotogrametrik yöntem ile 3 boyutlu modellenmiş, üretilen bu modeller planlanan sanal müze ve kataloglarda kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.

## 2. YÖNTEM

Harran bölgesinde tespit edilen ve müzeye kazandırılan arkeolojik nesnelerin belgelenmesi ve gelecek nesillere kalıcı bir şekilde aktarılması önemlidir.

Tarihi eserler belgelenerek; kayıt altına alınır, fiziksel tanımları yapılır, güncel tahribat durumu ortaya çıkarılır, geçmişte hangi amaçla kullanıldıkları tespit edilebilir, restorasyon çalışmalarına altlık oluşturabilir ve çalışma yapacak araştırmacılara örnek olabilirler (Ulvi vd., 2020, Ulvi vd., 2019).

Geleneksel yöntemlerle belgelemeye ek olarak günümüzde insansız hava araçları, yersel fotogrametri, lazer tarama vb. teknikler gelişmektedir (Yakar vd., 2015, Şenol vd., 2020). Her ne kadar arkeolojik alanların tespit edilmesi ve belgelenmesi için lazer tarama, GPR (Ground Penetrating Radar), hava fotogrametrisi, klasik ölçme yöntemleri ile model oluşturma vb. teknikler de mevcut olsa da bu çalışmada yersel fotogrametri tekniğiyle arkeolojik alanlardan çıkarılan tarihi öneme sahip objeler modellenmiştir (Şekil 3).

Şekil 3'te verilen objeler ile ilgili bilgiler sırasıyla aşağıdaki gibidir (Mutlu, 2019).

#### 1- Testi

2014 yılında Harran Höyük 8F/E5 Açması İ9 plankaresinde ele geçen İslami Dönem'e tarihlendirilen pişmiş topraktan yapılmış olan testi yüksek boyundur. Ağız kısmı ve tek kulpu kırık tel kulpu sağlam olan ağız çapı 8 cm, gövde genişliği 14 cm, yüksekliği 18,5 cm olan söz konusu testinin ağız kısmının hemen altında boyun kısmında dikey hatlı çizgilerle birbirinden ayrılmış kabartma bezeme bulunmaktadır. Gövde kısmından dip kısmına doğru uzanan ve gövde boyu devam eden üzüm salkımı bezemeyle çevrelenmektedir. Yuvarlak kaidelidir ve hamur rengi açık turuncu, dış ve içi de devetüyü astarlıdır.

#### 2- Balta

2014 yılında Harran Höyük 8F/E5 Açması, İ9 plankaresinde ele geçen nefrit taşından yapılmış olan balta açmanın Erken Tunç Çağı tabakalarından ele geçmiştir. Genişliği 5 cm, uzunluğu 8 cm olan, alt kısmında kırıkları olan söz konusu balta tüme yakındır. Baltanın uç kısmı kullanım amaçlı düzleştirilmiştir ve oldukça yoğun kullanım izlerine sahiptir.

#### 3- Hayvan Figürin Parçası - Pişmiş Toprak Çıngırak

2014 yılında Harran Höyük 8F/E5 Açması F6 plankaresinde ele geçen Erken Tunç Çağı pişmiş toprak hayvan figürin gruplarından koyun/koç biçimli çıngırığın kulak kısmı haricindeki bölümü tümüdür ve gözlerden biri belirgin olarak verilmiştir. Yüksekliği 4,1 cm, genişliği 6,1 cm, gövde kalınlığı da 3,1 cm olan figürinin ayakları ve kuyruğun uç kısmı kırıktır. Boyun kısmının hemen altından başlayıp kuyruk kısmına doğru yükselen bir ovallik vardır ve bu oval kısım üzerinde rastgele yerleştirilmiş, sallandığında sesin daha iyi duyulmasını sağlaması amacıyla yapılmış delikler bulunmaktadır. Kuyruk kısmında kırıklar olmasına rağmen kuyruğun oldukça detaylı aşağı doğru sarkmış biçimde yapıldığı gözlenmiştir. Kuyruğun alt kısmında ise çıngırığın sopasının girdiği düşünülen yaklaşık 0,2 cm'lik bir delik bulunmaktadır.

Söz konusu pişmiş toprak çıngırığın Erken Tunç Çağına ait mekan içinden ele geçmesi, sadece bebek mezarlarında bulunmadığını, günlük yaşam içerisinde de kullanımının olduğunu kanıtlar niteliktedir. Diğer bir

deyişle figürinlerin dini işlevleri dışında günlük yaşam içerisinde de kullanılmış olduğunu gösteren çıngıraklar önemli bir pişmiş toprak buluntu grubunu oluşturmaktadır. Hayvan tasvirlerinin üç boyutlu olarak yapıp hemen her evde bulundurulması, bu figürinlerin dini anlam taşımalarının yanında günlük yaşam biçimlerinin de birer parçası olduğu anlamına gelmektedir.

#### 4- Kadın Figürin Parçası

2014 yılında Harran Höyük 8F/E5 Açması, g4 plankaresinde İslami Dönem kaldırıldıktan sonraki kültür katında tespit edilmiştir. Hamuru açık gri (10YR 7/2), dış astarı krem rengi (5YR 7/3) olan pişmiş topraktan yapılmış olan figürinin, genişliği 1,5 cm, yüksekliği 4,6 cm olarak ölçülmüştür. Sütun biçimli gövdeden oluşan, kısa kolları yanlara doğru açılan figürinin kafa kısmı ve gövdenin alt kısmından itibaren olan bölümü kırık, boyun kısmı ve kollardan göbek deliğine kadar olan kısım ise sağlamdır. Boyun kısmında 0,3 cm genişliğinde yatay olarak çevrelenmiş deliklerle gerdanlığın üst detayı verilmiştir. Gerdanlığın hemen altında alt alta iki sıralı kolye yine pişmiş topraktan applike olarak işlenmiştir. Kollar stilize olarak iki tarafta açık olarak yapılmıştır.

#### 5- İbrik

2014 yılında Harran Höyük 8F/E5 Açması İ9 plankaresinde ele geçen İslami Dönem'e tarihlendirilen pişmiş topraktan yapılmış olan ibriğin ağız kısmı ve ibrik bölümünün bir bölümü kırıktır. Ağız çapı 4cm, gövde genişliği 11,5 cm ve yüksekliği de 14,3 cm olan tek kulplu ve kulp kısmı sağlam olan ibriğin hamuru devetüyü rengindedir. Halka dipli ve üzerinde herhangi bir bezemesi bulunmayan söz konusu ibriğin ağız kısmından boyun kısmına doğru oluk biçiminde hatlarla çevrelenmiş olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Şanlıurfa Arkeoloji Müzesinde muhafaza edilen ve modelleme için seçilen objeler

#### 2.1. Yersel Fotogrametri ile 3B Modelleme

Sayısal Fotogrametri, son yıllarda çok ilerleme kaydetmiştir. Fotogrametrik yöntem günümüzde pek çok

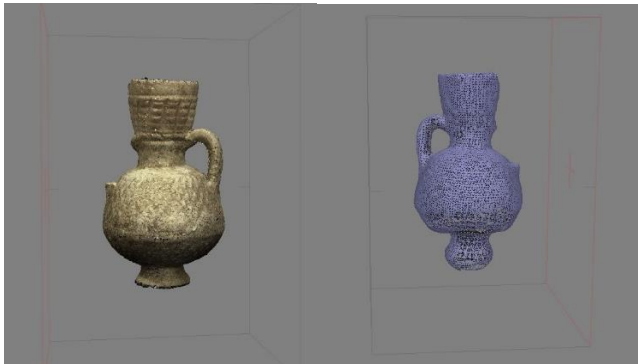
mühendislik uygulaması için umut vericidir (Yakar vd., 2016). Yersel fotogrametri ve kültürel miras araştırmasına uygulanması ile ilgili önemli ilerlemelerden biri herhangi bir ölçekte alınan çok sayıda görüntünün eş zamanlı olarak detaylandırılmasıyla nokta bulutunu otomatik olarak oluşturan görüntü işleme kodlarının (SfM) geliştirilmesidir (Fonstad vd., 2013; Green vd., 2014).

Yersel fotogrametrik yöntem üç boyutlu (3B) model üretimini sağlayan bir yöntemdir. Farklı odak uzaklıklarındaki kameralar kullanılarak ve uygun yazılımlardan yararlanılarak elde edilen fotoğraflardan 3B modeller üretilmektedir. Bu yöntem sayesinde modellerin 3B konum bilgilerine erişilebilmektedir (Şanlıoğlu, 2013). Yersel fotogrametri farklı uygulama alanlarında (mimarlık, endüstri, arazi ölçmeleri, tıp, kriminoloji, trafik kazaları vb.) kullanılmasına rağmen bu çalışmada arkeolojik alanlarda ve nesnelere kullanımına dair bir uygulama yapılmıştır. Yersel fotogrametri yıllardır arkeoloji için kullanılmakta olan bir yöntemdir (Ulvi ve Yiğit, 2019). Ekonomik yönü ve çıkardığı ürünlerdeki başarısı da dikkate alındığında yersel fotogrametri hala 3B belgeleme için kullanılan etkili yöntemlerden biridir.

## 2.2. Harran arkeolojik kazı alanından çıkarılan nesnelerin modellenmesi

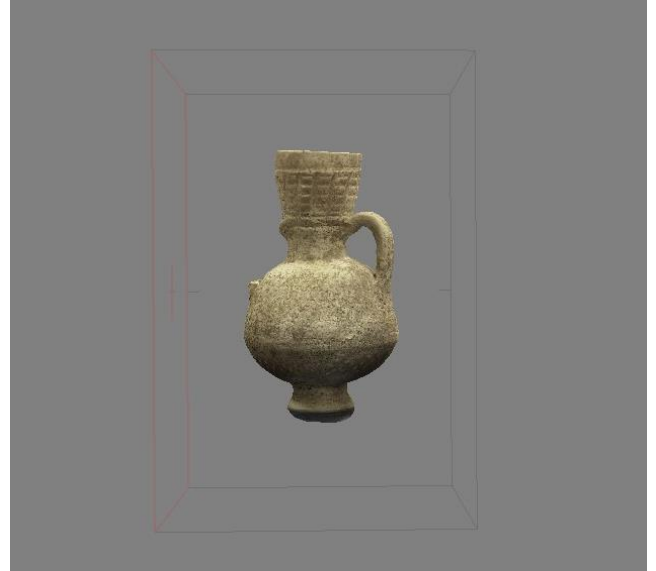
Objelerin modellenmesindeki temel amaç belgeleme olduğu için objelerin doğru ve kaliteli bir biçimde modellenmesi gereklidir. Bu doğrultuda modelleme için, Harran kazı alanından çıkarılan ve Şekil 3'te görülebilecek objelerin muhafaza edildiği Şanlıurfa Arkeoloji Müzesine gidilmiştir. Müze yetkililerinden alınan izinler doğrultusunda gerekli fotogrametrik adımlar izlenerek objelerin fotoğraflanması işlemi tamamlanmıştır.

Fotoğraflama işlemi tamamlandıktan sonra ofis ortamında obje modelleri üretilmiştir. Model üretimi için Agisoft yazılımı kullanılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle model oluşturulacak objelerin fotoğraflarından yararlanılarak nokta bulutları elde edilmiştir. Nokta bulutu model yüzeyini oluşturmada kullanılacak olup model yüzeyi ve dokusuyla ilgili bize detaylı bilgiyi vermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Müzeden modellenmek amacıyla fotoğraflanan objelerden birinin yoğun nokta bulutu ve üçgen modeli

Şekil 4'te görüldüğü üzere nokta bulutu ve üçgen model ile obje ile ilgili ayrıntılı doku ve yüzey bilgisine ulaşılmış bu sayede belgeleme için üretilecek modelin hassas ve doğru bir model olması yönündeki ilk işlem adımı tamamlanmıştır. Bu doğrultuda Agisoft yazılımı aracılığıyla oluşturulan yoğun nokta bulutu ve üçgen model kullanılarak objenin 3B modeli üretilmiştir (Şekil 5). Bu işlem müzede fotoğraflanmaya izin alınan tüm objeler için tekrarlanmıştır.



Şekil 5. Yoğun nokta bulutu ve üçgen model kullanılarak oluşturulan obje modeli

## 3. BULGULAR

Arkeolojik eserlerin ayrıntılı belgelenmesi için fotogrametrik modellemede fotoğraf çekimi kritik öneme sahiptir. Ayrıntıların ortaya çıkarılabilmesi ve tutarlı modellerin ortaya konması açısından fotoğraf çekimi sırasında belirli temel kuralların yanında bazı objeler özel bazı durumlarında ele alınması gerekmektedir. Örneğin, her fotoğraf çekiminde olduğu gibi burada da ışık çok önemlidir, bu yüzden stüdyo şartlarında uygun aydınlatma elemanları kullanılarak fotoğraf çekimi yapılmıştır. Diğer taraftan, bazı küçük objeler (figürin, kolye vb.) boyutlarından dolayı yakın çekim veya makro lensler gibi uygun teknikler kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca objenin modellenmesi için uygun açılardan ve objenin her yönünden olması kaydıyla fotoğrafların çekilmesi gerekmektedir. Bu objenin büyüklüğüne ve durumuna göre iki şekilde yapılabilir: 1) Objeye ölçülür bir tabla ve bir referans yardımıyla sabit bir fotoğraf makinesi önünde döndürülerek, 2) objenin etrafında belirli açılarda olacak şekilde fotoğraf makinesiyle birlikte dönülerek. Burada en dikkat edilmesi gereken husus ışın obje üzerinde oluşturduğu gölgelerdir. Bunları azaltmak veya yok etmek için her açıdan uygun ışık altında fotoğrafların çekilmesi gerekmektedir. Burada söz konusu objeler hassas tarihi eserler olduğundan, objelere en az temas edilecek şekilde fotoğraflar çekilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Harran arkeolojik kazı alanından gün yüzüne çıkarılan arkeolojik eserlerin Fotogrametrik yöntemle modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonucunda ortaya çıkan dijital kayıtlar, hem eserlerin sayısal olarak kayıt alınmasına hem de sanal müze kataloğunun veya arşivinin oluşturulmasına katkıda bulunmuştur.

Elde edilen modeller belgelemenin yanı sıra arkeolojik eserlerin restorasyon ve restitüsyonu için de kullanılabilir. Ayrıntılı nokta bulutu kullanılarak eserlerin vektörel çizimleri gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda, tek bir fotoğraf çekimi ile elde edilen fotoğraflardan oluşturulan çeşitli fotogrametrik ürünler (3B model, ölçülü nokta bulutu vb.) farklı ihtiyaçlara cevap verecek şekilde kullanılabilirler.

Gelecek çalışmalarda daha fazla eser modellenerek müze için bir dijital katalog oluşturulacak ve katalog web üzerinden 3 boyutlu olarak görüntülenebilir şekilde kullanıcılara sunulacaktır. Böylece ileride oluşturulacak sanal müze için gerekli olan adımlardan önemli bir tanesi gerçekleştirilmiş olacaktır.

#### BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Şanlıurfa Arkeoloji Müzesine ve Harran Örenyeri kazı ekibine desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız. 20070 nolu HUBAP projesi tarafından desteklenmiştir.

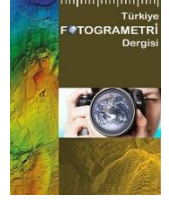
#### KAYNAKÇA

- Binici, H., Binici, F., Akcan, M., Yardim, Y., Mustafaraj, E., & Corradi, M. (2020). Physical-Mechanical and Mineralogical Properties of Fired Bricks of the Archaeological Site of Harran, Turkey. *Heritage*, 3(3), 1018-1034.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J., T., Courville, B. C., Jensen, J. L., Carbonneau P. E., 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Eart. Surf. Process. Landforms*, 38, pp. 421-430.
- Freely, J. A History of Ottoman Architecture; WIT Press: Southampton, UK, 2011.
- Gray, E.W.; Sherwin-White, S.M.; van der Spek, R.J. Carrhae; Oxford Research Encyclopedia of Classics: Green, S., Bevan A., Shapland, M., 2014. A comparative assessment of structure from motion methods for archaeological research. *Journal of Archaeological Science*, 46, pp. 173-181.
- Mutlu S. İ. (2019), "2014-2018 Yılları Arasında Harran Höyük Kazısı'nda Bulunan Erken ve Orta Tunç Çağı

- Pişmiş Toprak Figürinleri", Harran ve Çevresi, Arkeoloji, Ed. M.Önal, S.İ.Mutlu, S.Mutlu. Şanlıurfa 2019: 361-418. ISBN 978-975-7394-55-6, ŞURKAV Yayınları, 191-210.
- Oxford, UK, 2015.
- Önal M. (2015) Harran Örenyeri 2015 Yılı Arkeolojik Çalışmaları, Şanlıurfa Kültür Sanat ve Turizm Dergisi, sayı: 24, Ocak 2015.
- Sampson, G. Defeat of Rome in the East: Crassus, the Parthians, and the Disastrous Battle of Carrhae, 53 BC; Pen & Sword Military: Barnsley, UK, 2008.
- Senol, H. I., Erdogan, S., Onal, M., Ulukavak, M., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Yilmaz, M. (2017). 3D MODELING OF A BAZAAR IN ANCIENT HARRAN CITY USING LASER SCANNING TECHNIQUE. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Şanlıoğlu İ., Zeybek M., ve Karauğuz G. (2013). Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivritz Rock Relief in Late Hittite Er. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 13, No 2
- Şenol, H. İ., MEMDUHOGLU, A., & Ulukavak, M. Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.
- Turkish Archaeonews. Çevrimiçi: <https://turkisharchaeonews.net/site/harran> (Erişim tarihi: 10 July 2020)
- Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3b Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Ulvi, A., Yakar, M., YİĞİT, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal Of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y., & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, Murat, Osman Orhan, Ali Ulvi, Abdurahman Yasin Yiğit, and Mehmet Mesut Yüzer. "Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği." *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası* 10 (2015).



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



## Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması

Seda Nur Gamze Hamal\*<sup>1</sup> , Ali Ulvi<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Mersin University, Institute of Science, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Mersin, Turkey

### Anahtar Kelimeler

Su altı fotogrametrisi  
ROV  
Görüntü işleme  
3B modelleme

### ÖZ

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

## A Literature Study on Underwater Photogrammetry Method and Usage Area

### Keywords

Underwater  
photogrammetry  
ROV  
image processing  
3D modeling

### ABSTRACT

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



## 1. GİRİŞ

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

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

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

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

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

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

## 2. SU ALTI FOTOGRAMETRİSİ

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

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

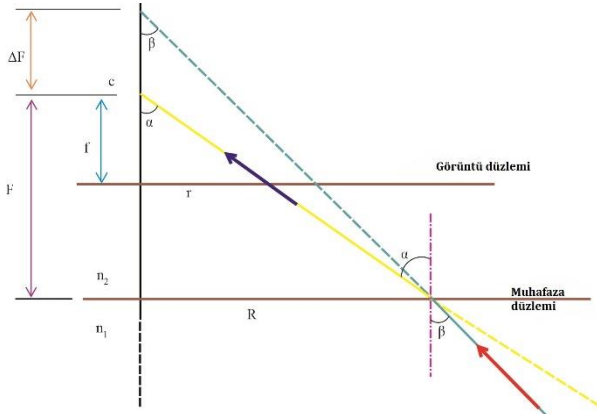
Su altında fotogrametrik yöntemlerin ve optik kameraların kullanımı nispeten yeni bir araştırma alanı olmuştur (Kocaman vd., 2017; Gruen vd., 2017). Su altında ışık ışınları kırılma indislerine sahip oldukları için, yansımadan kaynaklı renk değişimleri ve görüntü eşleştirme sorunları bulunmaktadır. Bu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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

## 2.1. Derin Sularda Fotogrametri

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

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

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

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



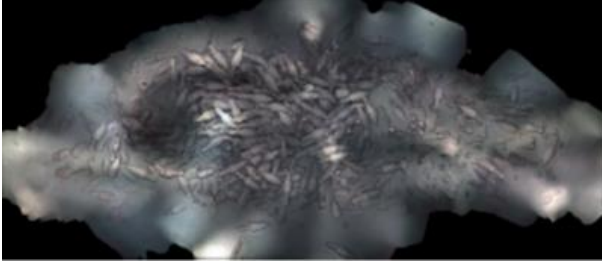
Şekil 2. ROV aracı (Drap vd., 2015)

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

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

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

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

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

## 2.2 Engelibeli Alanlarda Su altı Fotogrametrisi

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

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

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

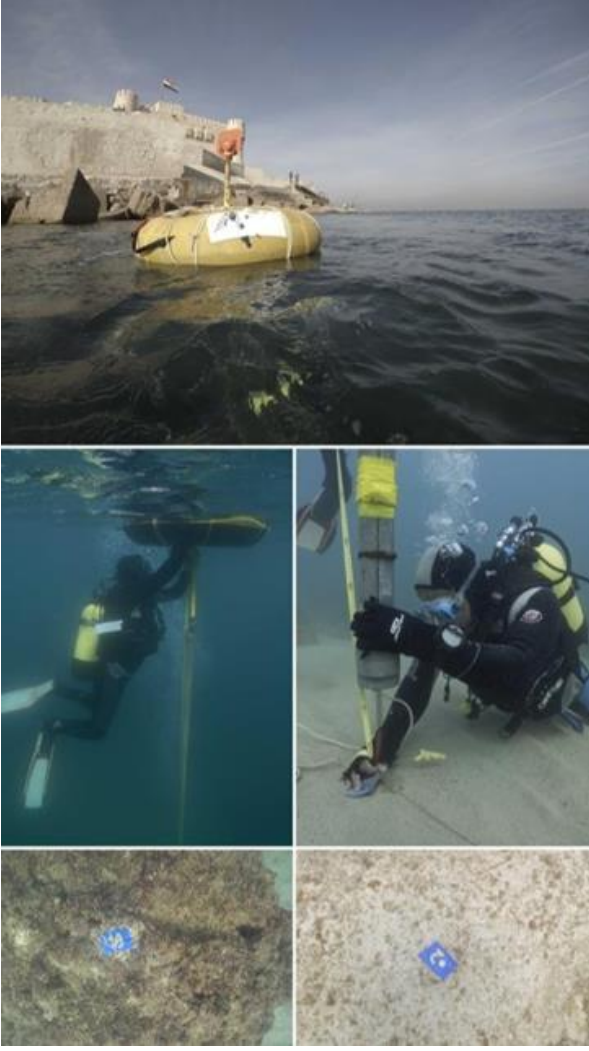
Ölçülecek alan 2 m genişliğinde şeritlere bölünmüş olup, demir çubuklarla tutturulmuştur (Şekil 6). Şeritler; fotoğrafı çeken kişiye rehberlik etmek, referans noktalarını göstermek, hareketinin düz bir çizgide olmasını sağlamak ve alanın üst üste bindirmesini kontrol etmek amacıyla yapılmıştır. İkinci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

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

Ölçüm sırasında Nikon D700 sabit 24 mm lens kamerası kullanılmıştır. Tüm çekimler flaşsız manuel mod ile gerçekleştirilmiştir. 7200 m<sup>2</sup>'lik alanda 26 hafta boyunca çalışma gerçekleştirilmiş olup toplamda 50152 adet fotoğraf çekilmiştir.

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

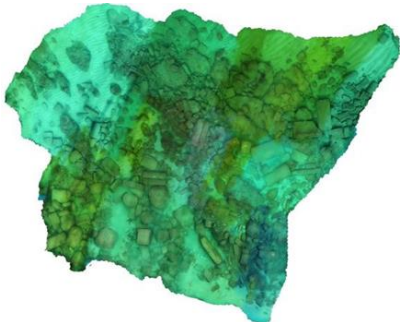
Yüzey kabartmalarını yakalamak amacıyla fotoğraflar 45°'lik açıyla çekilmiştir.



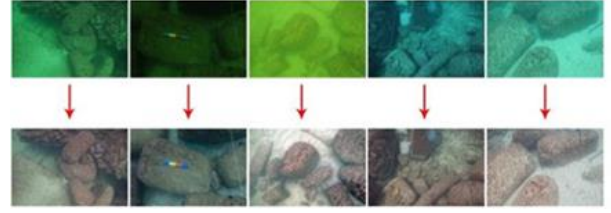
**Şekil 7.** Yer kontrol noktalarının belirlenme aşaması (Abdelaziz ve Elsayed, 2019).

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

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



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



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

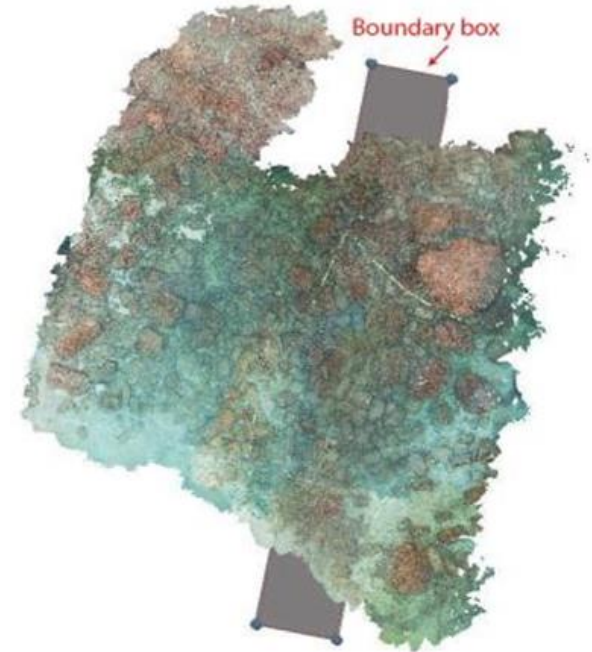
Bu fotoğraflara görüntü işleme için renk düzeltmesi, kontrast, gölgeleri kaldırma ve açık ton azaltma gerekmektedir. Bunun için Adobe Lightroom ve Photoshop programları kullanılmıştır.

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

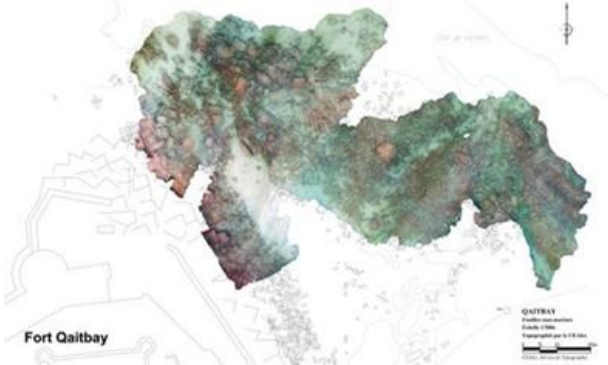
Kamera otomatik olarak matematiksel algoritmalarla kalibre edilmiştir. Kalibre edilmemiş görüntüler yazılım içinde otomatik olarak hesaplanmıştır.

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

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

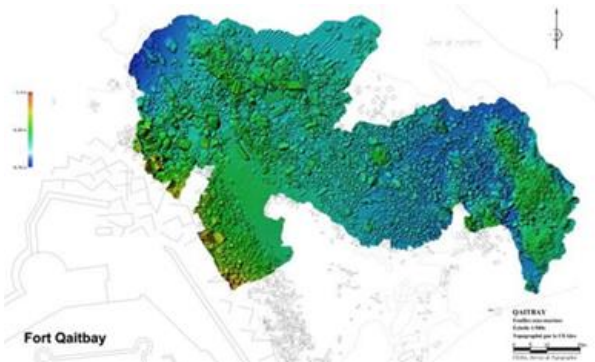


**Şekil 10.** Nokta bulutu görseli (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)



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

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



**Şekil 12.** SYM (Abdelaziz ve Elsayed, 2019)

#### 2.4. Sığ sularda Su altı Fotogrametrisi

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

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



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

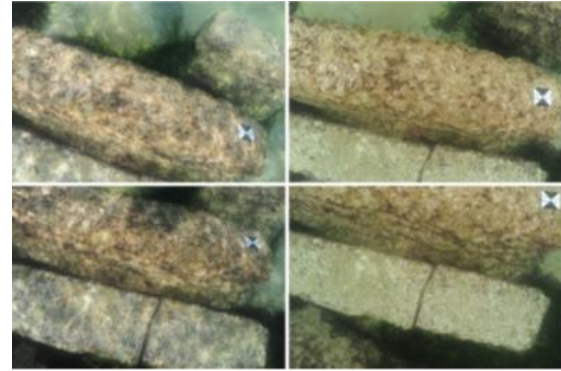
Mermerin blokları; fotoğraf taramasına hazırlamak ve iyi bir dokümantasyon elde etmek için kum, deniz yosunu ve betonlardan temizlenmiştir.

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

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

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

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



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

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

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



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

## 2.5. Kıyı alanlarda Fotogrametri

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

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

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

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



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

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



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

Kontrol elektroniği yüzeyle iletişim ve otomatik kalibrasyon işlemlerinden oluşmaktadır.

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



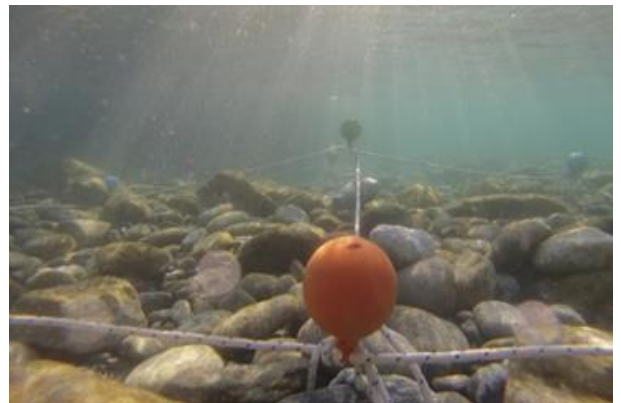
Şekil 18. ROV aracı ile iletişimi kurulan bilgisayar (Barrile vd., 2019)

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

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

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

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



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



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

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

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

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

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

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



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

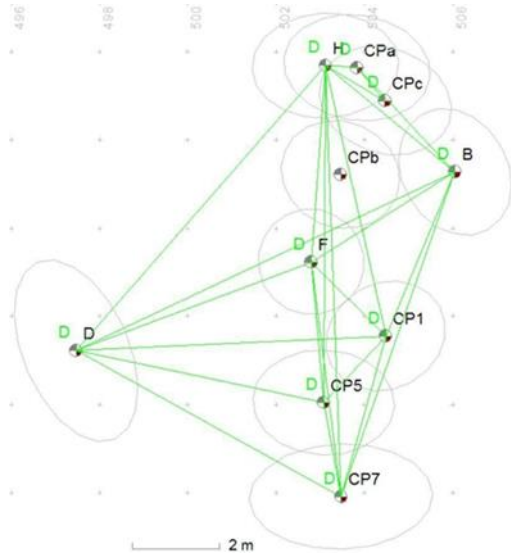


**Şekil 22.** İHA ve ROV ölçüleri sonucunda birleştirilmiş görsel (Barrile vd., 2019)

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

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

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



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



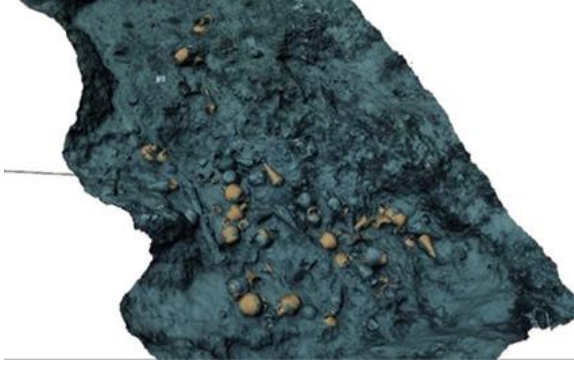
**Şekil 24.** Yer Kontrol Noktalarının tesisi (Costa, 2019; Bojakowski vd., 2015)

**Tablo 3.** Kameraların özellikleri (Costa, 2019)

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

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

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

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

### 3. SONUÇLAR

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### KAYNAKÇA

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



- Balletti, C., Beltrame, C., Costa, E., Guerra, F., & Vernier, P., (2015). Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Marble Cargos Shipwreck. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 7-13.
- Bandini, F., Sunding, T. P., Linde, J., Smith, O., Jensen, I. K., Köppl, C. J., ... & Bauer-Gottwein, P. (2020). Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111487.
- Barrile, V., Fotia, A., Ponterio, R., & Aliotta, F. (2019). Photogrammetric Techniques for The Reconstruction of Underwater 3d Models of Seabed and Artifacts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(10), 25-30.
- Barsanti, S. G., Remondino, F., Fenández-Palacios, B. J., & Visintini, D. (2014). Critical Factors and Guidelines for 3D Surveying and Modelling In Cultural Heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3(1), 141-158.
- Beltrame, C., & Costa, E. (2018). 3D Survey and Modelling of Shipwrecks in Different Underwater Environments. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 82-88.
- Bojakowski, P., Bojakowski, K. C., & Naughton, P. (2015). A Comparison Between Structure from Motion and Direct Survey Methodologies on the Warwick. *Journal of Maritime Archaeology*, 10(2), 159-180.
- Bruno, F., Lagudi, A., Barbieri, L., Cozza, M., Cozza, A., Peluso, R., ... & Skarlatos, D. (2019). Virtual Tour in The Sunken" Villa Con Ingresso A Protiro" Within The Underwater Archaeological Park Of Baiae. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Canciani, M., Gambogi, P., Romano, F. G., Cannata, G., & Drap, P. (2003). Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artifact insertion. The case study of the Dolia wreck in Secche della Meloria-Livorno-Italia. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 5(12), 95-100.
- Canlı, G. A., Kurtoğlu, İ., Canlı, M. O., & Tuna, Ö. S., (2015). Dünyada ve Ülkemizde İnsansız Su altı Araçları (İSAA AUV ve ROV) Tasarım Ve Uygulamaları. *GİDB Dergisi (04)*, 43-75.
- Capra, A., Castagnetti, C., Dubbini, M., Gruen, A., Guo, T., Mancini, F. T., & Troyer, M. (2017). High Accuracy Underwater Photogrammetric Surveying. In *3rd IMEKO International Conference on Metrology for Archeology and Cultural Heritage*, 696-701.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., & Losè, L. T. (2017). The influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI), TUSCANY. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 163.
- Costa E., (2019). The Progress of Survey Techniques in Underwater Sites: The Case Study of Cape Stoba Shipwreck., *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(10), 69-75.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). Gİs And Three-Dimensional Modeling For Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2) , 50-55.
- Drap, P. (2012). Underwater Photogrammetry for Archaeology. *Special Applications of Photogrammetry*, 114.
- Drap, P., Merad, D., Hijazi, B., Gaoua, L., Nawaf, M. M., Saccone, M., & Castro, F. (2015). Underwater Photogrammetry and Object Modeling: A Case Study of Xlendi Wreck in Malta. *Sensors*, 15(12), 30351-30384.
- Drap, P., Seinturier, J., Hijazi, B., & Merad, D., Boi, J. M., Chemisky, B., & Long, L. (2015). The ROV 3D Project: Deep-Sea Underwater Survey Using Photogrammetry: Applications for Underwater Archaeology. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 8(4), 1-24.
- Drap, P., Seinturier, J., Scaradozzi, D., Gambogi, P., Long, L., & Gauch, F. (2007). Photogrammetry for Virtual Exploration of Underwater Archeological Sites. In *Proceedings of the 21st international symposium, CIPA*, 1-6.
- Figueira, W., Ferrari, R., Weatherby, E., Porter, A., Hawes, S., & Byrne, M. (2015). Accuracy and precision of habitat structural complexity metrics derived from underwater photogrammetry. *Remote Sensing*, 7(12), 16883-16900.
- Gruen, A., Kocaman, S., Guo, T., Ural, S., & Troyer, M. (2017). DSM/DTM-Related Investigations of The Moorea Avatar Project. In *38th Asian Conference On Remote Sensing*, 23-27.
- Guo, T., Capra, A., Troyer, M., Grün, A., Brooks, A. J., Hench, J. L., & Dubbini, M. (2016). Accuracy Assessment of Underwater Photogrammetric Three Dimensional Modelling for Coral Reefs. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(B5), 821-828.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B., & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- Henderson, J., Pizarro, O., Johnson-Roberson, M., & Mahon, I. (2013). Mapping Submerged Archaeological Sites Using Stereo-Vision Photogrammetry. *International Journal of Nautical Archaeology*, 42(2), 243-256.
- Kaya, F. Z., Akçay, Ö., Avşar, E. Ö., & Aydar, U. (2019). Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar.
- Kocaman, S., Guo, T., Gruen, A., & Troyer, M. (2017). Ada Dijital Ekosistem Avatari (İdea) Projesi.

- Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 183-189.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar.
- Köseoğlu, F., & Kocaman, S. (2018). Mercan Resiflerinin Su altı Fotogrametrisi İle 3 Boyutlu Modellenmesi.
- Kwon, Y. H., & Casebolt, J. B. (2006). Effects of light refraction on the accuracy of camera calibration and reconstruction in underwater motion analysis. *Sports biomechanics*, 5(2), 315-340.
- Lallensack, J. N., Buchwitz, M., & Romilio, A. (2020). Photogrammetry in ichnology: 3D model generation, visualisation, and data extraction.
- Lavest, J. M., Rives, G., & Lapresté, J. T. (2003). Dry Camera Calibration for Underwater Applications. *Machine Vision and Applications*, 13(5-6), 245-253.
- Liarokapis, F., Kouřil, P., Agrafiotis, P., Demesticha, S., Chmelik, J., & Skarlatos, D. (2017). 3D Modelling and Mapping for Virtual Exploration of Underwater Archaeology Assets. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 425.
- Marre, G., Holon, F., Luque, S., Boissery, P., & Deter, J. (2019). Monitoring marine habitats with photogrammetry: a cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method. *Frontiers in Marine Science*, 6, 276.
- Menna, F., Nocerino, E., Fassi, F., & Remondino, F. (2016). Geometric and optic characterization of a hemispherical dome port for underwater photogrammetry. *Sensors*, 16(1), 48.
- Özdemir, C. (2020). Radar Cross Section Analysis Of Unmanned Aerial Vehicles Using Predics. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5 (3) , 144-149.
- Quattrini, R., Pierdicca, R., Frontoni, E., & Barcaglioni, R. (2016). Virtual Reconstruction of Lost Architectures: From The TLS Survey to AR Visualization. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41, 383-390.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric Modelling Of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) Using An Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1) , 6-11.
- Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6 (2) , 81-89.
- Su altı Federasyonu, (2020). <https://tssf.gov.tr/> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Su altı Kültürel Mirası İzleme Grubu, (2020). UNESCO Türkiye Millî Komisyonu, <http://www.unesco.org.tr/Pages/57/20/Suالت%4%B1-K%3%BClt%3%BCrel-Miras%4%B1-%4%B0zleme-Grubu> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- T.C. Cumhurbaşkanlığı, Mevzuat Bilgi Sistemi, (2020). Kültür Ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2863.pdf> (madde 3, a bendi)[Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Taşdemir, S., & Özkan, İ. (2019). Ann Approach For Estimation Of Cow Weight Depending On Photogrammetric Body Dimensions. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4 (1) , 36-44.
- Telem, G., & Filin, S. (2010). Photogrammetric modeling of underwater environments. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(5), 433-444.
- Treibitz, T., Schechner, Y., Kunz, C., & Singh, H. (2011). Flat refractive geometry. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 34(1), 51-65.
- Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi, (2020). <https://nsidc.org/> [Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020].
- Ulvi, A. (2018). Analysis Of The Utility Of The Unmanned Aerial Vehicle(UAV) in Volume Calculation By Using Photogrammetric Techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2) , 43-49.
- Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). Investigation of Three-Dimensional Modelling Availability Taken Photograph of the Unmanned Aerial Vehicle; Sample of Kanlıdivane Church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5 (1), 22-30.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques İn Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS*, 1103-1108.
- Van Damme, T. (2015). Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording in A Low-Visibility Environment. *International Archives of*

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

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

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

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



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