

Türkiye FOTOGRAMETRİ Dergisi

Cilt/Volume: 4
Sayı/Issue:1
Haziran/June
2022



e-ISSN: 2687-6590



Dergi Hakkında

Türkiye Fotogrametri Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Fotogrametri alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan bir dergidir.

Amaç & Kapsam

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 yayınlansın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayınlanan 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.

Türkiye Fotogrametri Dergisinin kapsamı;

- ✓ Hava Fotogrametrisi
- ✓ Yersel Fotogrametri
- ✓ İnsansız hava araçları (IHA) uygulamaları
- ✓ Mobil haritalama uygulamaları
- ✓ Fotogrametrik sensor kalibrasyonu
- ✓ 3D sensor teknolojisi
- ✓ Fotogrametrik amaçlı Görüntü işleme (Görüntü eşleme, detay çıkarma, radyometrik yöntemler, sınıflandırma)
- ✓ 3D modelleme ve yeniden oluşturma
- ✓ Nokta bulutu işleme
- ✓ Sanal Gerçeklik
- ✓ Fotogrametrik Ürün elde etmede Arazi/obje modellemesi
- ✓ Fotogrametrik Yöneltilme işlemleri
- ✓ Havai Nirengi
- ✓ 3D amaçlı veri tabanı modellemesi
- ✓ Sensörlerin geometrik modeller
- ✓ Sınıflandırma

Yayımlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

e-ISSN

WEB

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

İletişim

myakar@mersin.edu.tr



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

Misafir/Sayı Editörü

Dr. Öğr. Üyesi. Nizar POLAT
Harran Üniversitesi,
Şanlıurfa

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 GAZIOĞLU, 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. Tarık 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, 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

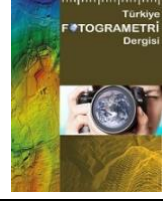
- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 4 / SAYI 1

Araştırma Makaleleri; *Research Articles*;*

Sayfa/Page No	Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name
01-06*	<i>Diyarbakır Mardin Kapı'nın Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3B Belgelenmesi</i> <i>3D Documentation of Diyarbakır Mardin Gate by Terrestrial Photogrammetry Method</i> Halil İbrahim Şenol & Evindar Orman
07- 16*	<i>Optik uydu görüntüleri yardımıyla heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketlerinin incelenmesi: Koyulhisar örneği</i> <i>Investigation of mass movements occurring in landslide areas with the help of optical satellite images: A case study in Koyulhisar town</i> Yasin Demirel & Tarık Türk
17-22*	<i>Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi</i> <i>Modeling of Cultural Heritage Artifacts with Images Obtained from Smartphone Cameras</i> Yunus Kaya & Doğukan Temel
23- 29*	<i>Nokta Bulutu Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması</i> <i>Investigation of Cell Phone and DSLR Camera Usage in Point Cloud Generation</i> Eren Can Seyrek, Ömer Gökberk Narin & Muhammet Mustafa Eroğlu
30-40*	<i>Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği</i> <i>Comparison Of Photogrammetric Software Using The Terrestrial Photogrammetric Method: The Case Of Husrev Pasa Mosque</i> Fatih Pulat, Murat Yakar & Ali Ulvi



Diyarbakır Mardin Kapı'nın Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3B Belgenmesi

Halil İbrahim Şenol¹, Evindar Orman¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fotogrametri,
SfM,
Kamera Kalibrasyonu,
Kültürel Miras,
3B Modelleme.

ÖZ

Diyarbakır, Bereketli Hilal bölgesinin Yukarı Mezopotamya kısmında kalan ve 9 bin yıllık bir geçmişe sahip Türkiye'nin önemli arkeolojik ve turistik şehirlerinden biridir. Bu nedenle kültürel mirasın oldukça yoğun olduğu bu bölgedeki eserlerin kayıt altına alınması ve belgenmesi oldukça önemlidir. Gelişen teknoloji ile birlikte tarihi eserlerin belgenmesi ve gelecek nesillere aktarılması kolaylaşmıştır. Bu doğrultuda gelişen teknolojinin sunduğu önemli araçlardan biri olan fotogrametri tekniği ile tarihi eserler kolay ve doğru bir şekilde kayıt altına alınabilmektedir. Bu yöntem ile tarihi eserler detaylı bir modeli oluşturularak dijital ortamda kayıt altına alınabilmektedir. Bu çalışmada Diyarbakır merkezinde bulunan ve eski Diyarbakır merkezini çevreleyen Diyarbakır Surlarının bir kapısı olan Mardin Kapının nokta bulutu ve 3B modeli yersel fotogrametri yöntemi ile üretilmiş ve belgenmiştir. Çalışma sonucunda önemli arkeolojik ve kültürel eserlerin belgenmesinin ve gelecek nesillere aktarılmasının önemi vurgulanmıştır.

3D Documentation of Diyarbakır Mardin Gate by Terrestrial Photogrammetry Method

Keywords

Photogrammetry,
SfM,
Camera Calibration,
Cultural Heritage,
3D Modeling.

ABSTRACT

Diyarbakır is one of the important archaeological and touristic cities of Turkey, which is located in the Upper Mesopotamian part of the Fertile Crescent region and has a history of 9 thousand years. For this reason, it is very important to record and document the artifacts in this region where the cultural heritage is quite intense. With the developing technology, it has become easier to document historical artifacts and transfer them to future generations. In this direction, historical artifacts can be recorded easily and accurately with the photogrammetry technique, which is one of the important tools offered by the developing technology. With this method, a detailed model of the historical artifact can be created and recorded in the digital environment. In this study, the point cloud and 3D model of the Mardin Gate, which is a gate of the Diyarbakır Walls, located in the center of Diyarbakır, was produced and documented by terrestrial photogrammetry method. As a result of the study, the importance of documenting important archaeological and cultural artifacts and transferring them to future generations was emphasized.

1. GİRİŞ

Diyarbakır Mezopotamya bölgesinde yer alan ve farklı kültürlerle başkentlik yapmış önemli bir şehirdir. Şehrin ticaret yolları üzerinde olması geçmişten günümüze ilgi noktalarından olmasını sağlamıştır. Ayrıca şehrin kültürel alt yapısı ve tarihi de günümüzde ilgi çekmektedir. Şehrin turizm altyapısının gelişmesiyle şehre daha fazla turist gelmeye başlamış ve bundan dolayı şehirde bulunan tarihi yapıları korumak ve belgelemek önem kazanmaya başlamıştır.

Bu çalışma, değerli ve hassas bir yapıya sahip olan arkeolojik alanların belgelenmesinin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte tarihi mekanların belgelenmesi süreci risksiz ve kolay hale gelmiştir [1]. Kültürel miras alanları hem kültür turizmi açısından hem de bu alanlarda devam eden bilimsel çalışmalar açısından büyük önem taşımaktadır [2]. Kültürel miraslar somut, somut olmayan ve doğal miras olarak üç başlık altında incelenebilir [3]. Arkeolojik alanlarda bulunan nesnelerin üretildiği malzemeler o günün koşullarını bize aktarırken, resim, heykel gibi sanatsal yapılar da geçmiş yüzyıllardan günümüze bir mesaj niteliğindedir.

Tarihi eserler, doğal veya beşeri etkenler nedeniyle zamanla zarar görme veya yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır [4,5]. Kültürel mirasın belgelenmesi hem nesne özelliklerinin daha detaylı incelenip kayıt altına alınmasına hem de önümüzdeki yıllarda meydana gelebilecek kaza, doğal afet gibi aksaklıklara karşı önlem alınmasına olanak sağlamaktadır. Kültürel miras sayılabilecek küçük nesnelere veya büyük yapıları belgelemek için birçok yöntem kullanılmıştır. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde fotoğraf çekmenin diğer yöntemlere göre daha kolay olduğu görülmektedir [6].

Kültürel mirasın belgelenmesinde geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olan fotogrametri tekniğinde, nesnenin fotoğrafları çekilebilmekte ve belirli matematiksel modeller yardımıyla 3 boyutlu bir model oluşturulabilmektedir. Ulvi ve arkadaşları [7], yakın mesafe fotogrametri yöntemini kullanarak tarihi çeşmelerin modellenmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Yakar ve Doğan [8], SfM yönteminin farklı çalışma alanlarında kullanımını incelemiş ve arkeolojik alanlarda tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Günümüzde dijital el kameralarının nispeten ucuz ve taşınabilir yapısı nedeniyle, arkeolojik alanlarda yersel fotogrametri sıklıkla kullanılmaktadır [7]. Yersel fotogrametride kullanılan dijital el kameraları hem görev öncesinde hem de görev sırasında kalibre edilebilir ve 3B modelleme için gerekli bilgileri depolayabilir. Bu sayede kalibre edilmiş kameralar ile 3B modeller elde edilebilmektedir. Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM)

yöntemiyle üst üste bindirilmiş fotoğraflar kullanılarak, nesnenin 3B bir modeli oluşturulabilir.

Günümüzde fotogrametri ve bilgisayarlı görüntüleme disiplinlerinin gelişmesiyle birlikte görüntü tabanlı modelleme teknikleri lazer taramaya ciddi bir rakip haline gelmiştir [9]. Görüntü tabanlı modellemenin bazı önemli avantajları, düşük maliyetli olması ve renk bilgisi içermesi, kalibre edilmiş veya kalibre edilmemiş kameraların kabul edilebilir olması [10] ve bir lazer tarayıcıdan daha yoğun bir nokta bulutu üretebilmesidir.

Bu noktada klasik fotogrametriden farklı olarak SfM yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. SfM, Fotogrametri ile aynı temel koşullar altında çalışır. Örtüşen görüntüler, ilgilenilen nesnenin 3B yapısını elde etmek için kullanılır. Agisoft Photoscan gibi birçok ticari yazılım da 3D modelleme için yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak fotoğraf eşleştirme, seyrek ve yoğun nokta bulutları üretme, üç boyutlu model, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto gibi birçok ürünün üretilmesine olanak sağlar. Görüntü işleme adımları ciddi zaman alabilir. Bu nedenle tam performanslı bir 3D model üretmek için özellikle yüksek performanslı bilgisayarların kullanılması önerilmektedir [12]. Bu çalışmada, tarihi Diyarbakır Surları ve Hevsel Bahçeleri sit alanında bulunan Mardin Kapı'nın üç boyutlu modelleri SfM yöntemiyle sayısal olarak oluşturulmuştur.

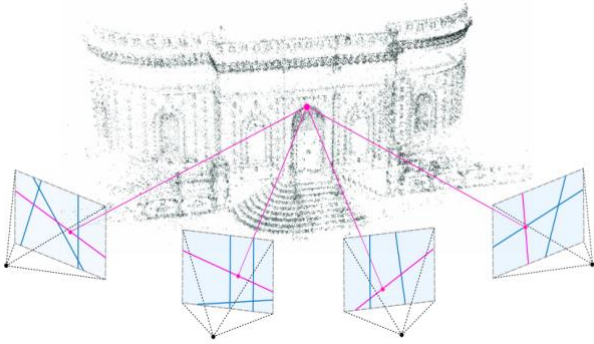
1.1. Çalışma Alanı

Bereketli Hilal'in bir parçası olan Yukarı Dicle Nehri Havzası'nın bir yamacında yer alan Diyarbakır ve çevresi, Helenistik dönemden bu yana Roma, Sasani, Bizans ve Osmanlı dönemlerinde de önemli bir merkez olmuştur. Diyarbakır'ın en önemli parçası olan ve 2015 yılında UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne giren Diyarbakır Surları ve Hevsel Bahçeleri şehrin merkezinde bulunmakta ve turistlerin ilgi noktalarından olmaktadır.

Alan, Amida Höyüğü'nün de içinde bulunduğu İçkale olarak bilinen kale içini ve çok sayıda kulesi, kapısı, payandası ve 63 yazıtı ile Diyarbakır'ın 5,8 km uzunluğundaki surlarını kapsamaktadır. Site ayrıca, şehir ile Dicle arasında şehre yiyecek ve su sağlayan yeşil bir bağlantı olan Hevsel Bahçeleri, Anzele su kaynağı ve On Gözlü Köprü'yü de içermektedir (Şekil 1).

Diyarbakır Surlarının dört ana kapısı bulunmaktadır. Surlar, Dağ Kapı (Harput Kapısı) ile kuzeye, Urfa Kapı (Rum veya Halep Kapısı) ile batıya, Mardin Kapı (Tell Kapısı) ile güneye, Yeni Kapı (Su, Satt veya Dicle Kapısı) ile doğuya açılmaktadır. 20.yy'ın başlarına kadar sur kapılarının geceleri kapatılarak, kente giriş çıkışın kontrol edildiği bilinmektedir. Surların kuzeydoğusunda bulunan ve yine dört kapısı bulunan İçkale; Saray Kapı ve Küpeli Kapı ile sur içine, Öğrun Kapı ve Fetih Kapı ile sur dışına açılmaktadır.

görüntü eşleştirme algoritması elde etmek için geliştirilmiş olsa da Stereoskopik Fotogrametri ile aynı temel koşullar altında çalışır [17-19].



Şekil 2. SfM Yöntemi [20]

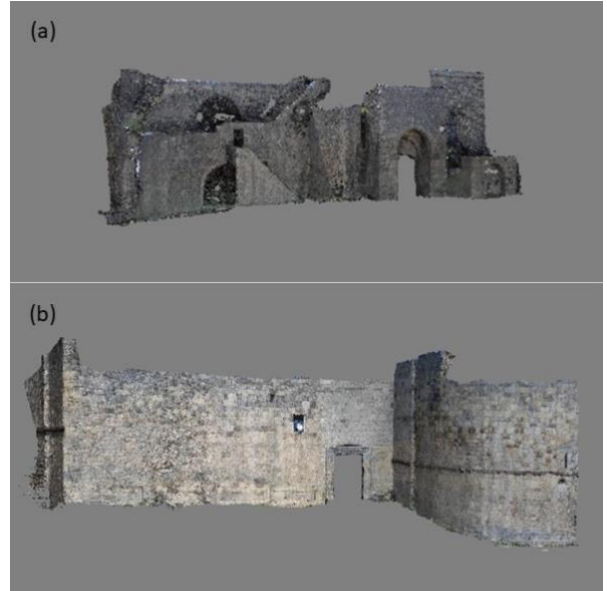
Örtüşen görüntüler, ilgilenilen nesnenin 3 boyutlu formunu elde etmek için kullanılır. Ancak geleneksel Fotogrametri ile SfM arasında temel bir fark vardır. Geleneksel Fotogrametride, bir görüntüdeki noktaların 3B konumunu belirlemek için kameraların 3B konumu veya yer kontrol noktalarının (GCP) 3B konumunun bilinmesi gerekir [21]. Buna karşılık, SfM, bilinen herhangi bir önceden tanımlanmış GCP seti olmadan geometrik parametreleri (yönlendirme, dahili ve harici parametreler) otomatik olarak belirler. Bunun yerine, bu parametreler, otomatik olarak eşlenen aynı özelliklerle yüksek oranda örtüşen bir görüntü seti kullanılarak eşzamanlı olarak çözülür. Ardından, yinelemeli, doğrusal olmayan en küçük kareler işlemi, kamera konumlarını ve nesne koordinatlarını tahmin ederek görüntüden görüntüye eşleşen özellikleri izler. Geleneksel fotogrametri ile karşılaştırıldığında, belirlenen kamera konumları görüntü alanındadır, yani nesne alanı göz önüne alındığında ölçek ve yönlendirme yoktur. Bu, harita üretimi gibi alanlarda az sayıda yer kontrol noktası kullanılarak 3B benzerlik dönüşümü ile çözülür [18]. Nesne modellemede genellikle bir ölçek belirtmek yeterlidir. Nesnenin kullanışlı bir 3B geometrisini elde etmek için görüntülerin nesneyi tam olarak kaplaması gerekir [22]. Bu koşulun sağlanabilmesi için kameranın cismi her açıdan görmesi gerekmektedir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada Diyarbakır Mardin Kapı ön ve arka kısmının modellenmesi için yersel fotogrametri yöntemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda Xiaomi Redmi Note 9 Pro cep telefonu ile yapının çevresinde çekilen 532 fotoğraf kullanılmıştır. Farklı açıdan çekilen bu fotoğraflar kullanılarak 3B model üretimi yapılmıştır. Modelleme yapılırken yapı üzerindeki deformasyonlar ve detaylara dikkat edilmiştir. Çalışmada modeli üretilen Diyarbakır Mardin Kapı ön ve arka kısmı Şekil 3'te verilmiştir.

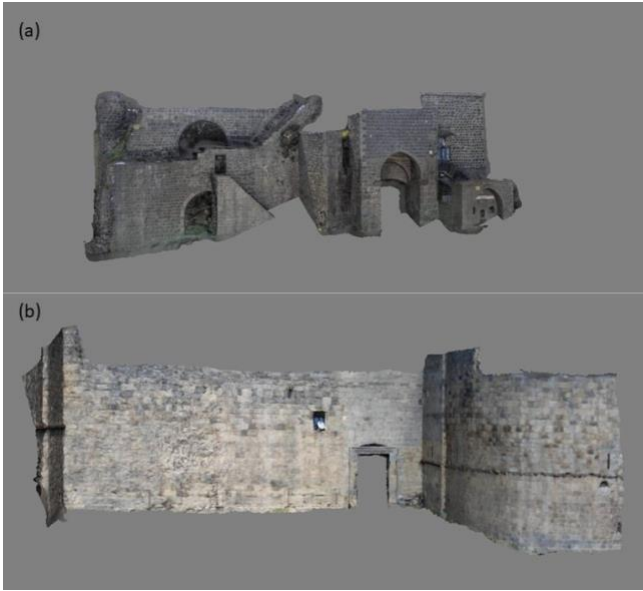


Şekil 3. Diyarbakır Mardin Kapı ön (a) ve arka (b) görünümü



Şekil 4. Diyarbakır Mardin Kapı ön (a) ve arka (b) kısımlarının temizlenmiş nokta bulutu

Antik kapıyı birebir modelleyebilmek için nesnelerin mümkün olduğunca tüm açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Yüksek çözünürlüklü bir model üretmek için nokta bulutunun yoğun olması gereklidir. 3B model üçgenlerinin sayısı da nokta bulutlarının sayısı ile orantılı olarak artar ve azalır. Bunun için beş milyondan fazla 3B nokta üretilmiş ve yüksek yoğunlukta modellenmiştir (Şekil 4). Üretilen nokta bulutlarından 3 boyutlu modeller elde edilmiş ve bu modeller gerçek renk dokusu ile kaplanarak gerçekçi modeller elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Diyarbakır Mardin Kapı ön (a) ve arka (b) kısımlarının 3B modeli

Elde edilen görüntü ve model gibi çıktılar, tarihi mekanların belgelenmesinde, arkeolojik kazılarda bulunan önemli eserlerin modellenmesinde ve restitüsyon projelerinde kullanılabilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Diyarbakır surlarında bulunan Mardin Kapının nokta bulutu ve 3B modeli fotogrametrik yöntemlerle üretilmiştir. Modelleme işlemi yapının yersel fotoğrafları çekilerek yapılmıştır. Yapının yüksekliği ve yersel fotogrametrinin verdiği dezavantaj nedeniyle yapının tavan kısmının modeli üretilmemiştir. Bu doğrultuda önce nokta bulutu, ardından alanın 3 boyutlu modeli üretilmiştir. Çalışma sonucunda yersel fotogrametri ile 5 milyondan fazla nokta üretilmiştir. Arkeolojik eserlerin belgelenmesi gelecek nesillere ulaşması ve üzerinde yapılabilecek restorasyon çalışmaları nedeniyle önem arz etmektedir. Belgelenen arkeolojik eserler gelecek nesillere de ışık tutacaktır. Türkiye'nin UNESCO Dünya Mirası listesinde olan ve önemli kültürel miraslarından biri olan Diyarbakır Surları, modellenerek belgelenmiş ve eser sayısal ortamda saklanmıştır. Bu çalışmalar için fotogrametri tekniği yeterli olmakla birlikte, ileride yapılacak çalışmalarda bu tür yüksek yapılarda lazer tarama ve insansız hava aracı yöntemleri kullanılarak farklı çözümler üretilebilir.

Yazarların Katkısı

Halil İbrahim Şenol: Literatür taraması, makalenin yazımı.

Evindar Orman: Arazi çalışmasının yapılması, 3B modellerin üretimi

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

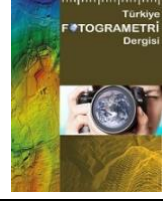
KAYNAKÇA

- [1] Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2020). 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.
- [2] Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- [3] 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. doi: 10.13189/ujes.2019.070303.
- [4] Cömert, R., Avdan, U. & Şenkal, E. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19, Zonguldak.
- [5] Tercan, E. (2017). İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 633-642. doi: 10.21923/jesd.315232.
- [6] Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıncı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- [7] Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yakar, M. (2019). Modeling of Historical Fountains by Using Close-Range Photogrammetric Techniques. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 1-6.
- [8] Yakar, M. & Dogan, Y. (2018). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. *In Conference of the Arabian Journal of Geosciences*, 73-75.
- [9] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. & Sarazzi, D. (2011). UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling Current Status and Future Perspectives. *ISPRS ICWG I/V UAV-g Conference*, Zurich, Switzerland.
- [10] Colomina, I., Blázquez, M., Molina, P., Parés, M. E. & Wis, M. (2008). Towards a New Paradigm for HighResolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing. *IAPRS&SIS*, 1201-1206.
- [11] Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., 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.
- [12] Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork Projects Using an Unmanned

- Aerial Vehicle (UAV) System. *Automation in Construction*, 41, 1- 14.
- [13] Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M. & Karauğuz, G. (2013). Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivriç Rock Relief in Late Hittite Era. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13(2), 147-157.
- [14] 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.
- [15] Dellepiane, M., Dell'Unto, N., Callieri, M., Lindgren, S. & Scopigno, R. (2013). Archeological excavation monitoring using dense stereo matching techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3), 201-210.
- [16] Magnani, M., Douglass, M. & Porter, S. T. (2016). Closing the seams: resolving frequently encountered issues in photogrammetric modelling. *Antiquity*, 90(354), 1654-1669.
- [17] Tanskanen, P., Kolev, K., Meier, L., Camposeco, F., Saurer, O. & Pollefeys, M. (2013). Live Metric 3D Reconstruction on Mobile Phones. in: 2013 *IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, IEEE, 65-72.
- [18] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. & Reynolds, J. M. (2012). Structure from Motion'photogrammetry: A Low Cost, Effective Tool for Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179, 300-314
- [19] Micheletti, N., Chandler, J. H. & Lane, S. N. (2015). Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(4), 473-486.
- [20] Geppert, M., Larsson, V., Speciale, P., Schönberger, J. L. & Pollefeys, M. (2020). Privacy preserving structure from-motion. In *European Conference on Computer Vision*, 333-350.
- [21] Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng*, 19, 331-345.
- [22] Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin İncelenmesi: Koyulhisar Örneği

Yasin Demirel¹ , Tarık Türk¹ 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler

COSI Corr,
Kütle Hareketleri,
Deformasyon,
Heyelan,
Uzaktan algılama.

ÖZ

Dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilen heyelan, kentleşmeye zarar vermesi, tarım ve orman alanlarını tahrip etmesi, nehirler ve suları kirletmesi gibi maddi olumsuzluklarının yanı sıra can kaybına neden olarak üzücü sonuçlar doğuran bir felakettir. Bu nedenle heyelan alanlarında can ve mal kaybına sebep olan kütle hareketlerini tespit etmek hayati önem taşımaktadır. Günümüzde yersel ölçümler, uzaktan algılama ve fotogrametrik ölçümler gibi birçok yöntem ile heyelan, buzul, kumul ve deprem alanlarında meydana gelen kütle hareketleri belirlenebilir. Yüzey deformasyon analizleri fotogrametri ve uzaktan algılama teknikleri ile yapılabildiği gibi yerinde ölçüm ve arazi gözlem teknikleri ile de yapılabilir. Her tekniğin kendi avantajı ve sınırlaması vardır. Her ne kadar yersel ölçüm yöntemlerinde (jeofizik etüt, kazı yapma, tektonik ve jeomorfolojik özelliklerin araştırılması) yüzey deformasyonları doğru bir şekilde belirlense de bütünsel bir görünüm elde etmek oldukça yoğun emek ve zaman gerektirir. Uzaktan algılama yöntemleri ise hız ve maliyet gibi birçok açıdan oldukça kolaylıklar sağlamaktadır. Bu çalışmada, çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntüleri ve optik olarak algılanan görüntülerin korelasyonu yöntemi (COSI Corr) ile heyelan alanlarında meydana gelen yavaş kütle hareketleri analiz edilmiştir. Bunun sonucunda, heyelan bakımından riskli olan yerleşim alanlarında gerekli önlemlerin alınmasına yönelik çeşitli öneriler ortaya konulmuştur.

Investigation of Mass Movements Occurring in Landslide Areas with the Help of Optical Satellite Images: A Case Study in Koyulhisar Town

Keywords

COSI Corr,
Mass Movements,
Deformation,
Landslide,
Remote sensing.

ABSTRACT

Landslide, which is accepted as an important type of natural disaster worldwide, is a disaster that has sad consequences by causing loss of life as well as material negative effects such as damaging urbanization, destroying agricultural and forest areas, polluting rivers and waters. For this reason, it is vital to detect mass movements that cause loss of life and property in landslide areas. Today, mass movements in landslide, glacier, dune and earthquake areas can be determined by many methods such as terrestrial measurements, remote sensing and photogrammetric measurements. Surface deformation analyzes can be done by photogrammetry and remote sensing techniques, as well as by on-site measurement and field observation techniques. Each technique has its own advantage and limitation. Although surface deformations are accurately determined in terrestrial measurement methods (geophysical survey, excavation, investigation of tectonic and geomorphological features), obtaining a holistic view requires a lot of labor and time. Remote sensing methods, on the other hand, provide many conveniences such as speed and cost. In this study, slow mass movements occurring in landslide areas were analyzed by using very high resolution optical satellite images and Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation (COSI Corr). As a result, various suggestions have been put forward to take necessary precautions in settlements that are risky in terms of landslides.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(tturk@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2671-7590
(ysndmrl58@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-5582-984X

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Demirel, Y. & Türk, T. (2022). Optik uydu görüntüleri yardımıyla heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketlerinin incelenmesi: Koyulhisar örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(1), 07-16

Geliş Tarihi/Received: 08/03/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 02/06/2022

1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler yerleşim alanlarının tedbirsiz ve bilinçsizce gelişmesine dolayısıyla da doğal afetlerin verdiği zararların artışına sebep olmaktadır. Türkiye morfolojik yapısı, coğrafi konumu ve iklim özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıplarıyla ve büyük ekonomik zararlarla karşı karşıya kalmaktadır [1].

Heyelan, deprem, tsunami, taşkın ve kuraklık gibi birçok farklı doğal afet türü vardır. Heyelanlar dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilmektedir [2]. Ayrıca heyelan, büyük ölçüde altyapıya (karayolları, demiryolları, boru hatları, yapay rezervler) ve özel mülke (binalar, tarım arazileri) zarar vermekle birlikte insan kayıpları ve ekonomik kayıplar ile toplumları maddi ve manevi olarak yıpratıcı bir doğal afet türüdür. Heyelan oluşumu; bölgenin litolojisi, faylara yakınlığı, yamaç eğimi, yükseklik, bakı, akarsuya yakınlık, yola yakınlık gibi birçok faktöre bağlıdır [1,3].

Heyelanlar sonucunda ortaya çıkan olumsuz etkileri azaltmak veya önlemek için heyelanları izlemek ve dinamiklerini analiz etmek son derece önemlidir [4]. Heyelan bakımından risk unsuru taşıyan bölgelerde meydana gelen yer değiştirmeleri ve kütle hareketlerini ortaya koymak, bölgedeki heyelan bakımından riskli alanları önceden tahmin etmek ve öngörülebilir zararları engellemek veya en aza indirmek açısından gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlar.

Geleneksel yersel heyelan tespit yöntemleri ile hassas tespit yapılabilir ancak bu durum zaman gerektirmekle birlikte maliyetlidir. Zamanında, hızlı ve güncel bilgileri elde etmek için uzaktan algılama tabanlı farklı heyelan tespit yöntemleri uygulanmıştır [5,6]. Deformasyonların ve kütle hareketlerinin tespiti için Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü tarafından Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation (Cosi-Corr) olarak adlandırılan bir uzaktan algılama yöntemi geliştirilmiştir [7]. Birçok araştırmacı bu yöntemi kullanarak kumul, buzul, heyelan ve deprem alanlarında farklı ölçeklerde çalışmalar gerçekleştirerek hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir. Cosi-Corr uzantısı, ENVI yazılımının bir modülü olarak çalışır [4].

Bu yöntemde, GNSS ile arazide yer kontrol noktaları (YKN) ölçümleri gibi ek bilgilere ihtiyaç duyulmamakla birlikte hava fotoğraflarının ya da optik uydu görüntülerinin otomatik ve hassas bir şekilde ortorektifikasyonu (ortho-rectification) ve birlikte doğrultulması (co-registration) gerekmektedir. Sonrasında bu iki görüntü arasındaki yatay yer değiştirmeler vektörlerle temsil edilebilir. Verilerin değerlendirilmesinde hava fotoğrafları için kamera kalibrasyon raporlarına, optik uydu görüntüleri için ise uydu yükseklik açısı, azimut açısı, uydu izleri gibi uydu görüntülerine ait meta verilerle birlikte çalışma alanının uydu görüntüsü elde edilme tarihi ile uyumlu ve yüksek doğruluklu sayısal arazi modeline (SAM) ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, farklı

periyottaki uydu görüntülerine ait metaverilerin (uydu yükseklik açısı, azimut açısı, uydu izleri vb.) birbirine yakın olması gerekmektedir [8,9].

Çok sayıda araştırmacı Cosi-Corr yöntemi ile kumul, buzul, heyelan ve deprem alanlarında farklı ölçeklerde çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır. Hermas ve arkadaşları [10], Spot 4 pankromatik uydu görüntüleri ile Mısır'da kumul bölgedeki yer değiştirmeleri analiz etmişlerdir. Elde edilen bulguları bölgede yapılan önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmış ve COSI Corr yönteminin diğer sonuçlarla tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir. Suncar ve arkadaşları [11], Los Angeles'ın güneyinde meydana gelen heyelanlarındaki kütle hareketlerini COSI Corr yöntemi ile incelemiş, sonuçların GNSS istasyonları ile elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle ortaya çıkan yer değiştirme değerleri ile tutarlı olduğunu saptamışlardır. Barisin ve arkadaşları [12], Spot 4 görüntülerinin alt piksel korelasyon analizi ve InSAR ölçümlerini birleştirerek Afar vadisinin Dabbahu segmentindeki üç boyutlu yüzey yer değiştirmeleri belirlemişlerdir. Stumpf ve arkadaşları [13], Fransız Alplerinde Ubaye vadisinin güneyinde yer alan Barcelonette' deki heyelanlarda oluşan kütle hareketlerini Pleiades uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile analiz etmişlerdir. Scherler ve arkadaşları [14], Aster uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak yer ölçümlerinin maliyetli ve uygulanmasının zor olduğu alanlarda buzul dinamiğinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bunun sonucunda küresel ısınma ve küçülen buzullar ile ilgili tehlikeleri hesaba katan su yönetimi planları için COSI Corr yönteminin ışık tuttuğunu vurgulamışlardır.

Avouac ve arkadaşları [15], 8 Ekim 2005 Kashmir depremi sonucunda meydana gelen deformasyonu ölçmek ve sismik dalga modellerini belirlemek için Aster uydu görüntülerini ve alt piksel korelasyonunu kullanarak bu depremi analiz etmişlerdir. Bu tür bir analizin deprem sonrası görüntü elde edilir edilmez gerçekleştirilebildiğini ve hasarların erken değerlendirilmesi için önemli bilgiler sağladığını ifade etmişlerdir. Leprince ve arkadaşları [8], Aster uydu görüntüleri ve aynı alan ile örtüşen 30 hava görüntü çiftini COSI Corr yöntemi ile analiz ederek 2005 Kashmir ve 1992 Landers depremlerinin neden olduğu yatay kosismik yer değiştirme alanlarını tespit etmişlerdir. Taylor ve arkadaşları [16], Kasım 2002' de Alaska'da meydana gelen 7,9 büyüklüğündeki Denali depremi sırasındaki sismik yer değiştirmeleri Spot uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile belirlemişlerdir. Necsoui ve arkadaşları [17]; Alaska Kobuk vadisi Ulusal Park bölgesinde 62 km²' lik bir alanda Aster optik uydu görüntüleri ve Cosi Corr yöntemi ile yavaş hareket eden kum tepelerindeki değişimi analiz etmişlerdir. Saba ve arkadaşları [6], yüksek çözünürlüklü Worldview 2 görüntüleri yardımıyla bölgesel ölçekte heyelan tespiti için Cosi Corr tekniğinin uygulanabilirliğini, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Haque [18], 10 m çözünürlüklü Spot pankromatik görüntülerini, alt piksel korelasyon

tekniklerini ve ERS- 2 SAR verilerini kullanarak 12 Kasım 1999 Düzce depreminin neden olduğu yüzey deformasyonunu 3 boyutlu olarak modellemiştir. Türk [4]; 50 cm çözünürlüklü Worldview 1 pankromatik uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemini kullanarak Koyulhisar'da meydana gelen kütle hareketlerini belirlemiş ve çalışma alanında yapılan diğer çalışmalarla tutarlı olduğunu vurgulamıştır. Mazzanti ve arkadaşları [19]; Rattlesnake Hills (ABD) bölgesine ait çok sayıda farklı tarihe ait uydu görüntüleri ve Cosis Corr yöntemi ile bu bölgede meydana gelen heyelanların analizini gerçekleştirmiştir. Herman ve arkadaşları [20], Yeni Zelanda'da Aster uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak buzul hareketlerini analiz etmişlerdir. Türk [9], COSI Corr yöntemi ile heyelan meydana gelen alanlarda kütle hareketlerinin nasıl analiz edileceğini göstermiş ve yöntemin deformasyon tespitinde güvenle kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Türk ve arkadaşları [21], Çok yüksek çözünürlüklü SPOT uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak daha önce heyelan bölgesi olarak belirtilen bölgelerdeki heyelan aktivitelerini izlemişlerdir. Ding ve arkadaşları [22], Alt piksel görüntü korelasyonu tekniği ile Landsat 8, Sentinel 2, Gaofen 2 görüntülerinin geriye dönük zamansal serilerini analiz ederek Çin'de meydana gelen heyelandan kaynaklanan deformasyonu belirlemişlerdir. Ayoub ve arkadaşları [23], Hava fotoğrafları ve Cosis Corr yönteminin fay hareketlerini ve zeminde meydana gelen deformasyonu analiz etmek için oldukça güçlü bir seçenek olduğunu ifade etmişlerdir. Fernandez ve Whitworth [24]; bir dizi hava fotoğrafı kullanarak Cosis Corr yöntemi ile heyelan aktivitesi olan bölgeyi incelemişler ve heyelan potansiyeline sahip bölgeleri otomatik olarak tespit etmişlerdir. Fernandez ve arkadaşları [25], sadece coğrafi olarak elverişli bölgelerde değil aynı zamanda incelenmesi zor olan alanlarda da hava fotoğrafları ve Cosis Corr yönteminin yer değiştirme alanlarının tespitinde kullanışlı bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Lucieer ve arkadaşları [2]; İnsansız Hava Aracı (İHA) tabanlı görüntüler ve Cosis Corr yöntemi yardımıyla heyelan dinamiklerini izlemek için esnek ve etkili araçlar sağlayacağını ortaya koymuşlardır.

Sonuç olarak, ekonomik ve can kayıplarına sebep olan heyelanlar dünyada sıklıkla meydana gelmektedir. Bu heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketleri belirli zaman aralıklarıyla analiz edilmelidir. Literatür incelendiğinde Cosis Corr yöntemi kumul/buzul alanlarda meydana gelen ve depremlerden/heyelanlardan kaynaklanan yer değiştirmelerin belirlenmesinde güvenle kullanılabilecek yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Spot 5 uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi kullanılarak Sivas ili Koyulhisar ilçe merkezi ve civarındaki kütle hareketleri belirlenmiş ve çalışma alanına ait birtakım değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar CBS ortamında bütünleştirilmiştir. Sonuç olarak, bu

çalışmanın heyelan bakımından riskli olan alanlarda alınması gereken önlemlere yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

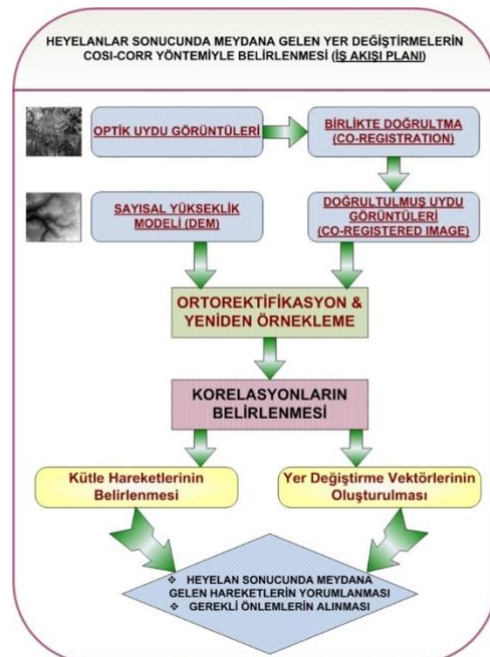
2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketleri uzaktan algılama yöntemlerinden biri olan COSI Corr yardımıyla incelenerek heyelan tehlikesi altında olan bölgelerin analiz ve takibinin CBS tabanlı bir sistem ile ortaya konması hedeflenmektedir.

Bu analiz iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, değişimin analiz edileceği ilgili çalışma alanına ait uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi kullanılarak, GNSS ölçümü gibi ilave bir bilgiye ihtiyaç duyulmaksızın yüzey deformasyonunun ekonomik, kolay ve doğru bir şekilde ortaya konması açıklanmaktadır. İkinci kısımda ise; COSI Corr yöntemiyle yatay yer değiştirme hareketlerine ait veriler CBS ortamına aktarılarak elde edilen sonuçlar bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programıyla analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada;

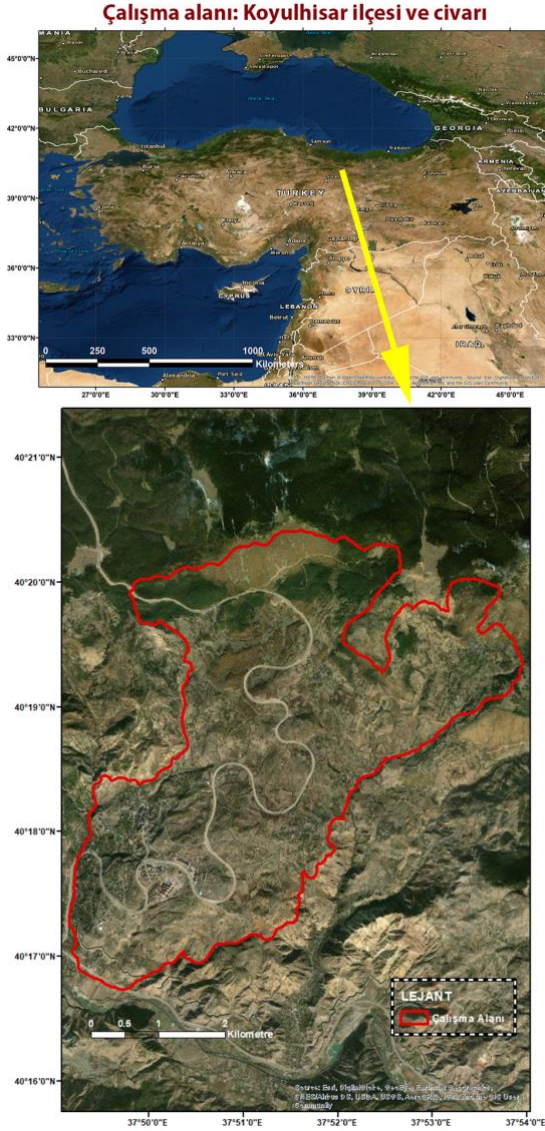
- 2,5 metre çözünürlüklü Spot 5 optik uydu görüntüleri (11 Ağustos 2006 ve 21 Eylül 2011 tarihine ait),
- Mutlak coğrafi referans doğruluğu için çok yüksek çözünürlüklü ikonos uydu görüntüsü,
- Topoğrafyadaki değişimlerin doğru bir şekilde modellenmesi için Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden üretilen SAM ve MTA tarafından hazırlanan, bölgede önceden meydana gelen heyelanları gösteren heyelan envanter haritası kullanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için ENVI 5.0 ve ESRI ArcGIS 10.6.1 yazılımları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan iş adımları aşağıda sunulmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İş akış şeması (Türk, 2013).

2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Koyulhisar bölgesi tektonik açıdan aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Buna bağlı olarak bölgedeki kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Ayrıca bölgedeki yüksek eğimli topografya faktörü de yerleşim alanlarının tahribine sebep olan birçok eski ve yeni heyelanı tetiklemektedir [26-28].



Şekil 2. Çalışma alanı: Koyulhisar ilçesi ve civarı

KAFZ'ın yanı sıra bölgede Şıhlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde yer alan Dumanlıca Fayları olduğu bilinmektedir (Demirel vd., 2016). Bölgedeki bu faylar litoloji ile birlikte değerlendirildiğinde heyelanların tetiklenmesinde önemli bir unsur olabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle Koyulhisar formasyonundaki çökeller bu aktif fayların etkisiyle suya doygun zemin üzerinde hareketlenerek heyelanları tetiklemektedir [40].

Jeolojik olarak, bölgenin temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile bunları tektonik olarak

üzerleyen Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalar oluşturur. Bu kayalar üzerine uyumsuz olarak Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı kireçtaşları örtmektedir. Eosen yaşlı aglomera, tüf ve andezitik lav akıntısı ile Pliyosen yaşlı andezitik ve bazaltik bileşimli lav akıntıları bu birimleri keserek inceleme alanında yüzeylemektedir. Kimyasal, mekanik ve/veya tektonik süreçlerle anakayadan türemiş olan gevşek yapılı Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozundan oluşan birimler ise yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir [29].

Koyulhisar ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda, yüzeylenen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru, Orta-üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale, Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Daniyen yaşlı Şıhlar, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonları şeklinde tanımlanmıştır [30]. Bu formasyonlardan Aşağıkale, İğdir, Şıhlar ve Düdenyaylası formasyonları Geç Kretase Paleosen sırasında, volkanik yay tipi bir ortamda çökelmiş, üste doğru tane boyutu artan kalın bir istif oluşturmuştur [30]. Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Erdembaba formasyonu andezitik-bazaltik karakterli volkanitlerden oluşmaktadır. Jeokimyasal verilere göre bu volkanik kayalar kıtasal kabuğun anateksisi sonucunda meydana gelen kalkalkalin karakterli asidik bir magmanın ürünü olduğunu göstermektedir [31]. Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yaygın şekilde yüzeylenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonu ise oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeradan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki Kuvaterner yaşlı çökelleri KAFZ ve Kelkit Nehri boyunca fay denetimli taraça çakılları, alüvyal yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen, çakıl, kum ve siltlerden oluşur [30,32,33]. Bölgede yapılan çalışmalarda bu alanın farklı litolojiler ile sarp ve engebeli bir topografyaya sahip olduğu vurgulanmaktadır.

Ayrıca akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratabilir veya yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altında kalan kısmını suya doygun hale getirerek yamacı oluşturan alanın kayma direncini azaltır ve sonuç olarak yamaçların stabilitesi bozulur [1]. Heyelanları tetikleyen bir diğer unsur olan yamaçlarda yapılan yollar ise ilgili alanda yük azalmasına neden olmaktadır [1].

Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alındığında, çalışma alanının izlenmesi gereken potansiyel bir heyelan risk alanı olduğunu göstermektedir.

2.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Optik uydu görüntüleri ve COSI Corr yazılımı kullanılarak yeniden örnekleme, ortorektifikasyon, birlikte doğrultma (co-registration) ve korelasyon gibi işlemler sonucunda çalışma alanında meydana gelen kütle hareketleri ve yatay yer değiştirmeler belirlenmiştir.

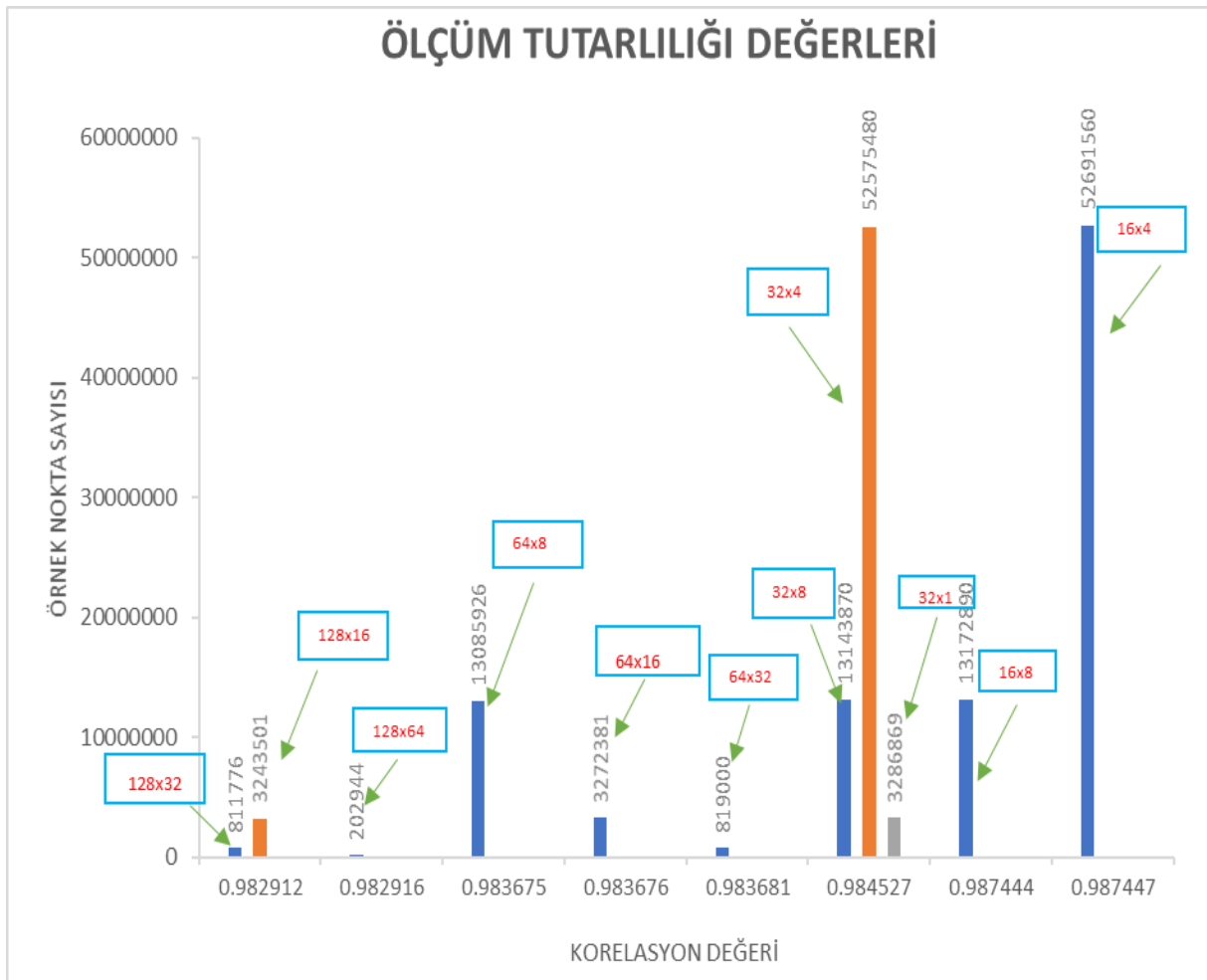
Çok yüksek çözünürlüklü İkonos uydu görüntüsü, 11 Ağustos 2006 tarihli Spot 5 uydu

görüntüsünün birlikte doğrultulması için ana görüntü olarak kullanılmıştır. Her iki görüntü arasında uygun dağılımlı bağlantı noktaları seçilmiştir. Seçilen bağlantı noktaları alt piksel korelasyonu (sub-pixel correlation) kullanılarak fourier tabanlı frekans korelatörü ile optimize edilmiş ve hassas ortorektifikasyon için YKN'ye dönüştürülmüştür. Referans olarak kullanılan İkonos görüntüsü ve 2006 yılına ait Spot 5 uydu görüntüsü arasında 37 ortak nokta kullanılarak ortorektifiye edilmiştir. Ortorektifiye edilen bu görüntü ile 2011 yılına ait Spot 5 uydu görüntüsü arasında 25 ortak nokta kullanılarak işlemler tekrarlanmıştır. Bağlantı noktalarının seçiminde oldukça hassas davranılmış olup uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüğündeki farklar, görüntüdeki bulut ve bitki örtüsü gibi faktörler nedeniyle farklı sayıda ortak nokta hesaba katılmıştır.

En uygun sonuçları elde etmek ve aykırı değerleri filtrelemek için bazı son işlem adımları

uygulanır [18]. Yapılan çalışmada sonucun kalitesi SNR (Signal Noise Ratio: Sinyal-Gürültü-Oranı) bandındaki korelasyon ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanı ve civarında yapılan heyelana yönelik çalışmalar dikkate alınarak aykırı değerler filtrelenmiş ve ardından sonuçlar değerlendirilmiştir.

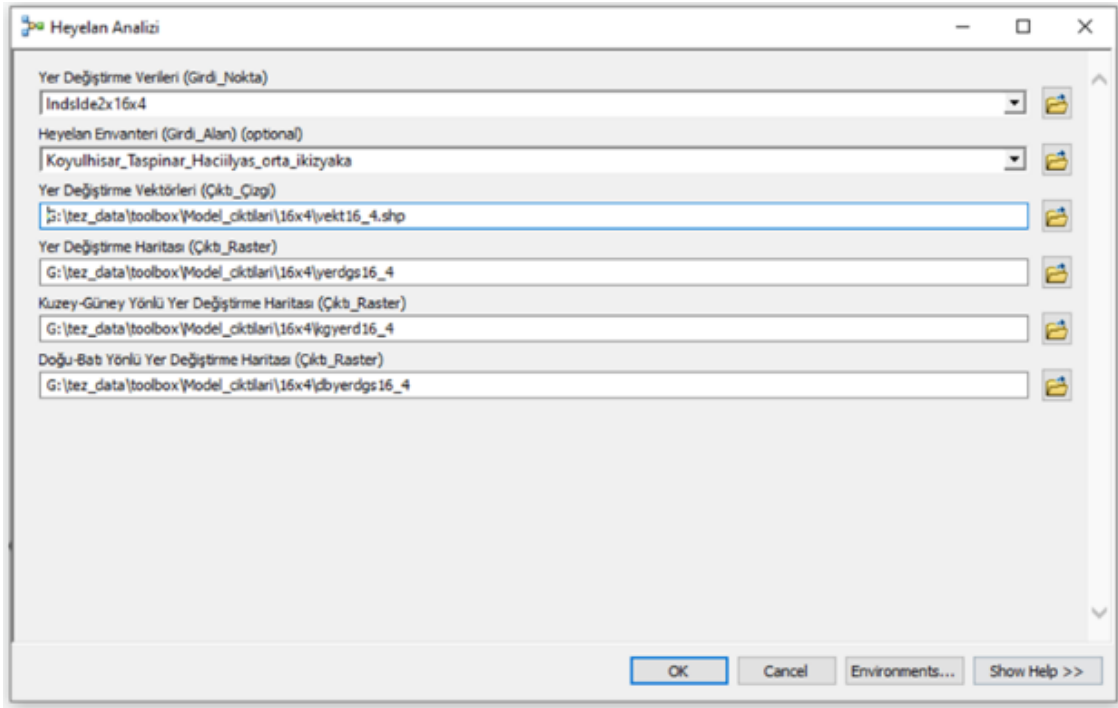
Kullanılan parametrelerin farklı pencere ve adım boyutları için türetilen SNR değerlerinin histogram grafiği tutarlılık kalitesinin değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Histogram, örnek nokta sayısına karşı SNR değerini göstermektedir. SNR değerinin 0 değerini alması korelasyon bulunmadığını, 1 değerini alması ise değişkenler arasında yüksek oranda korelasyon bulunduğunu göstermektedir [4,18]. Bu esaslar hesaba katıldığında 16x4 (pencere boyutu-adım boyutu), en iyi kombinasyon olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Pencere boyutu x adım boyutu değerleri için örnek nokta sayısına karşılık gelen korelasyon değerleri.

Çalışmanın ikinci kısmında ise MTA tarafından geçmiş yıllardaki heyelan bilgilerinden yola çıkarak üretilen heyelan envanter verisi ve çalışma alanını kapsayan uydu görüntüleri kullanılarak Cosi Corr yöntemi ile elde edilmiş yatay yer değiştirme vektörleri üretilmiştir. Ardından bu veriler CBS ortamında (ESRI ArcGIS) bütünleştirilmiş ve heyelan

bölgesine karşılık gelen noktalar dikkate alınarak enterpolasyon yöntemi ile kütle hareketleri analiz edilmiştir. Analize altlık oluşturan sonuçların tamamını otomatik olarak üreten bir kullanıcı arayüz programı ArcGIS Model Builder aracılığıyla geliştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Geliştirilen kullanıcı arayüz programı

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

COSI Corr yönteminde ortorektifiye edilmiş her iki görüntü benzerlik eşleşmesi amacıyla tarayan kayan pencere yöntemi kullanılarak analiz edilir ve yer değiştirme korelasyonunun en yoğun olduğu yerden tahmin edilir [23]. Pencere boyutu ve adım boyutu korelasyon için çok önemli bir faktördür. Genelde en iyi sonuçlar 1/4 ve 1/8 (adım boyutu/pencere boyutu) oranında çıkar. Büyük adım boyutunda ayrıntılar kaybolurken küçük adım boyutunda yer değiştirme alanı için daha fazla ayrıntı dikkate alınmaktadır [18].

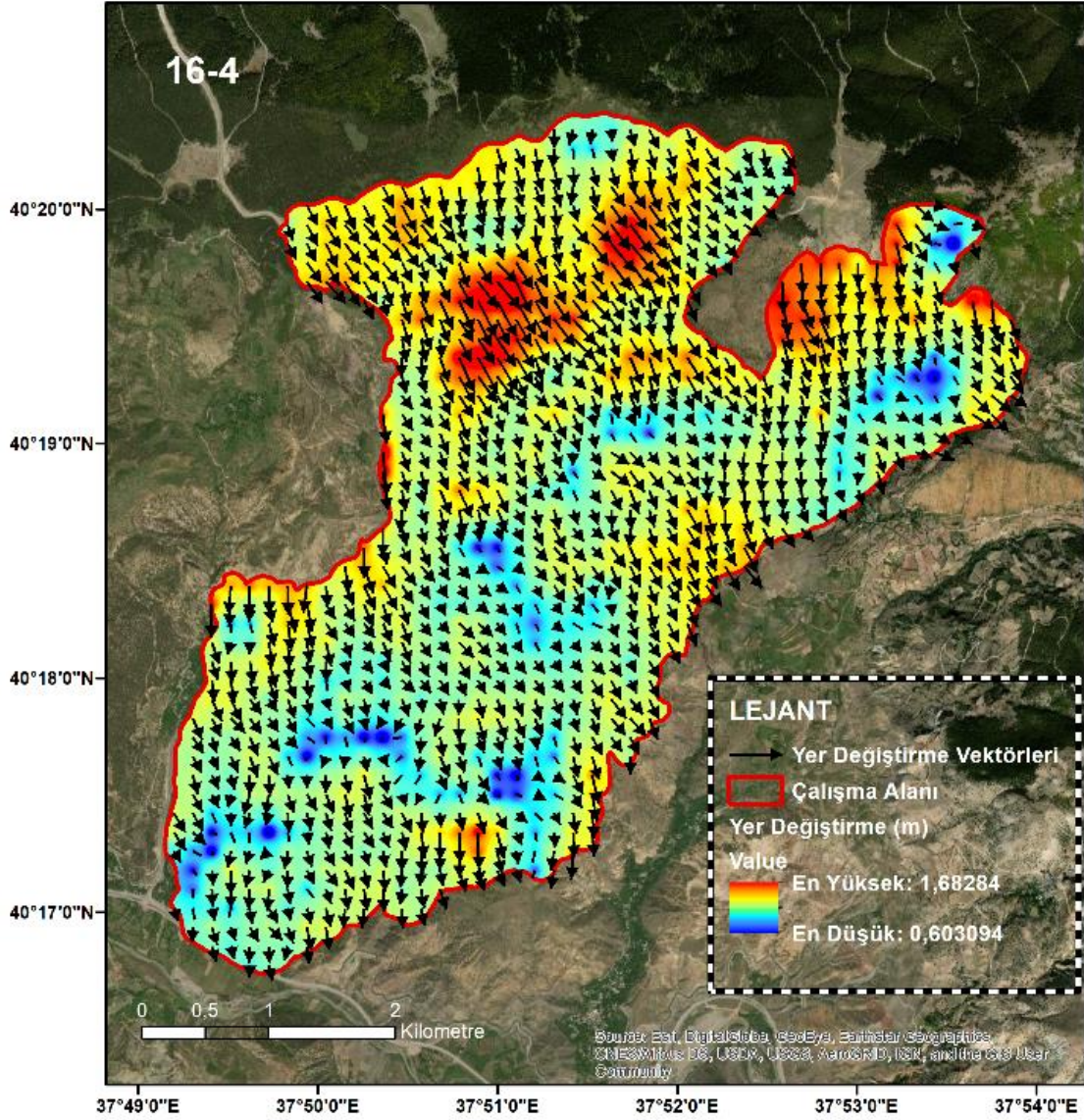
Farklı pencere ve adım boyutları için SNR bandındaki histogram grafiği korelasyon kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Korelasyon dosyası istatistiksel olarak değerlendirildiğinde pencere boyutu 16 ve adım boyutu 4 kombinasyonunun en yüksek korelasyon ile en uygun sonucu ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı pencere ve adım boyutlarına göre nokta sayısı dolayısıyla vektör yoğunluğu değişmektedir. Nokta sayısı ve yoğunluğuna bağlı olarak farklı hassasiyet ve doğruluklar elde edilebilmektedir.

Korelasyon dosyasından elde edilen sonuçlar CBS ortamında analiz edilmiştir. Yer değiştirme değerleri kullanılarak Inverse Distance Weighting (IDW) yöntemiyle kütle hareketlerini temsil eden enterpolasyon haritaları geliştirilen kullanıcı arayüz programıyla otomatik olarak üretilmiştir (Şekil 5).

KAFZ üzerinde bulunan çalışma alanı, aktif bir heyelan bölgesi olup daha önce uzaktan algılama verileri, yersel ölçümler ve jeolojik faaliyetler ile birçok çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir [1, 3, 4,

9, 21, 28, 33-38]. Bu çalışmalar sahada incelemede bulunan araştırmacılara bir fikir verebilir ancak yer değiştirme verileri her zaman birbiri ile tam olarak örtüşmeyebilir. Çünkü, GNSS ölçümleri ile noktasal bazda hareket belirlenirken COSI Corr yöntemiyle alan bazlı hareketler belirlenmektedir. Ayrıca bölgede yapılan uzaktan algılama ve GNSS tabanlı ölçümlerle tam bir karşılaştırma yapabilmek için değerlendirme tarihli uydu görüntüleri ile eş zamanlı ölçümlerin olması gerekmektedir.

Çalışma alanında; farklı tarihlerde 10 GNSS noktası [35] ve 53 GNSS noktası [36] kullanılarak noktasal bazda yer değiştirmeler iki farklı çalışma kapsamında belirlenmiştir. COSI Corr yöntemiyle 1/20 piksel civarında bir bağıl doğruluk elde edilebilmektedir [18,4,5]. Bu nedenle, kullanılan uydu görüntülerinin geometrik çözünürlüğü ölçüm sonuçlarında farklı doğrulukların elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında 2.5 metre çözünürlüğe sahip Spot 5 pankromatik uydu görüntüleri kullanılmış olup 12.5 cm'den fazla meydana gelen yer değiştirmelerin anlamlı olarak tespit edilebileceği durumunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı çalışma alanında 2013 ve 2014 yılları arasında 50 cm çözünürlüğe sahip Worldview 1 optik uydu görüntüleri ve Cosi Corr yöntemiyle kütle hareketlerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada [4] yılda 15 cm ile 112 cm arasında değişen yer değiştirmeler tespit edilmişken yapılan bu çalışmada iki farklı tarihe ait 2,5 m çözünürlüklü Spot 5 uydu görüntüleri kullanılarak beş yıllık bir zaman periyodu (11 Ağustos 2006-21 Eylül 2011) içerisinde yıllık ortalama 12 cm ile 34 cm arasında değişen yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanında meydana gelen yer değiştirme haritası

Dağlık bölgelerde yaygın olarak meydana gelen yavaş hareket eden heyelanların mekaniği tam olarak anlaşılammaktadır. Dinamikler oldukça karmaşık bir yapıya sahip olup iklim faktörlerine oldukça duyarlıdır [39]. Bu durum heyelanların zamanla ne kadar yavaş geliştiğini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Geleneksel jeodezik ölçümler (takometre, nivelman, kinematik GNSS), heyelanların zamansal gelişimini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, çok zamanlı uydu görüntüleriyle net bir şekilde ortaya konan kütle hareketlerindeki mekansal heterojenlikleri yakalayamazlar [7]. Hız alanı, heyelanın jeomorfik ifadesi ile örtüşmez ve oldukça heterojendir. Örneğin Fransız Alpleri Ubaye vadisindeki La Valetta heyelan sahasında tekrarlanan jeodezik ölçümler yardımıyla bir karşılaştırma ağı kurulmuştur. Bu ölçüm noktaları heyelanın morfolojisine göre doğru bir şekilde yerleştirilmelerine rağmen pekçok hareketli alan tespit edilememiştir. Bu hareketli alanlar Cosi Corr yöntemiyle ortaya konmuştur. Aksi takdirde bu

alanlardaki hareketlerin tespit edilmeden kalabileceği vurgulanmaktadır [7].

Diğer taraftan, literatürde yapılan çalışmalarda Cosi Corr yönteminin doğruluğunu etkileyen birtakım ölçütlerin bulunduğu ifade edilmektedir [2,7,23]. COSI Corr yöntemi ile elde edilen sonuçların doğruluğu kullanılan SAM'ın doğruluğu, görüntülerin birlikte doğrultulması (co-registiration) ve ortorektifikasyonu gibi işlemlerin hassas bir şekilde yapılmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [23]. Ayrıca, uydu görüntü çiftlerindeki kar, bulut, bitki örtüsündeki değişiklikler, inşa edilen yeni binalar ya da arazideki insan yapımından kaynaklanan değişiklikler gibi farklılıklar Cosi Corr yönteminin doğruluğunu sınırlandırabilmektedir. Bu sınırlamalara rağmen, COSI-Corr yöntemi; faylanma, buz akışının mekaniği ile birlikte iklimin bu sürece etkisi ve heyelanlar gibi çeşitli jeomorfik ve sismotektonik süreçleri araştırmak için verimli ve çok yönlü bir araç olarak dikkat çekmektedir [2,7].

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında daha önce jeolojik ve jeomorfolojik yapısı sebebiyle birçok heyelan çalışmasına konu olmuş Koyulhisar ilçe merkezi ve civarında meydana gelen kütle hareketleri, yüksek çözünürlüklü Spot 5 uydu görüntüleri ve bir uzaktan algılama yöntemi olan COSI Corr yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Heyelan risk analizinde geniş alanların yoğun konumsal örneklerle izlenmesine olanak sağlayan COSI Corr yöntemi, sınırlı veri sağlayan yersel yöntemlere göre çok avantajlıdır. Bu yöntem yersel yöntemler ile karşılaştırıldığında çok yüksek doğruluk sunmamakla birlikte çok fazla sayıda nokta ile çalışma olanağı sağlayarak kütle hareketlerinin yönü ve büyüklüğü hakkında çok önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Spot 5 optik uydu görüntülerinin alım tarihleri arasında çalışma alanı ve civarında herhangi bir heyelan olayına ait kayıt sözü konusu değildir. Ancak, alım yapılan tarihlerden önceki ve sonraki yıllarda bu alanda heyelan kayıtlarının bulunması bölgede sürekli bir kütle hareketinin var olduğunu ve bu alanların sürekli olarak analizinin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma ile, heyelan açısından riskli bölgelerde yavaş kütle hareketlerinin analiz edilebileceği, jeomorfolojik değerlendirmelere altlık oluşturacak verilerin üretilebileceği ve alandaki hareketliliği periyodik olarak izlemek amacıyla COSI Corr yönteminin rahatlıkla kullanılabilirliği söylenebilir. Hatta ileriye yönelik kütle hareketi riski gözlemlenen bölgelerde heyelan envanteri oluşturma çalışmalarına da öncülük edebilecek bir sistem geliştirilebilir.

Gelişen teknoloji ile gelecekte konumsal ve zamansal çözünürlüğü daha yüksek olan uydu görüntülerinin daha düşük maliyetle kullanıcılara sunulmasıyla birlikte daha az insan gücü yardımıyla meydana gelen kütle hareketleri kolaylıkla takip edilebilecektir. Ayrıca oluşturulan bu sistem yardımıyla İHA ve uydu görüntülerinin birlikte kullanılması ile istenilen periyotlar arasında meydana gelen kütle hareketlerinin tarihçesi ve sahadaki mevcut risk kolaylıkla ortaya konabilecektir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma bir yüksek lisans tez çalışması olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler TÜBİTAK 113Y188 nolu proje tarafından sağlanmış olup yazarlar sağlanan veriler nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

Yazarların Katkısı

Yasin Demirel: Literatür taraması, Analiz, Veri toplama ve işleme, Yazım.

Tarık Türk: Fikir, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım, Makale değerlendirme, Denetleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

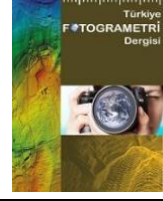
- [1] Demir, G. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 96-112.
- [2] Lucieer, A., Jong, S. M. D. & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116.
- [3] Köse, D. (2018). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Programlarıyla İncelenmesi: Koyulhisar Örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 92s, Sivas
- [4] Türk, T. (2018). Determination of mass movements in slow-motion landslides by the Cosi-Corr method. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 325-336.
- [5] Saba, S. B., Khattak, N. U., Ali, M., Waseem, M., Siddiqui, S., Anjum, S. & Turab, S. A. (2019). Application of sub-pixel-based technique" orthorectification of optically sensed images and its correlation" for co-seismic landslide detection and its accuracy modification through the integration of various masks. *Journal of Himalayan Earth Science*, 52(1).
- [6] Saba, S. B., Ali, M., van der Meijde, M. & van der Werff, H. (2017). Co-seismic landslides automatic detection on regional scale with sub-pixel analysis of multi temporal high resolution optical images: Application to southwest of Port au Prince, Haiti. *Journal of Himalayan earth sciences*, 50(2), 74-92.
- [7] Leprince, S., Berthier, E., Ayoub, F., Delacourt, C. & Avouac, J. P. (2008). "Monitoring earth surface dynamics with optical imagery", EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 89(1), 1-12.
- [8] Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F. & Avouac, J. P. (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to

- ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529-1558.
- [9] Türk, T. (2013) Hava fotoğrafı ve optik uydu görüntüleri yardımıyla yatay yer değiştirmelerin belirlenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(1), 71-79.
- [10] Hermas, E., Leprince, S. & Abou El-Magd, I. (2012). Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote sensing of environment*, 121, 51-60.
- [11] Suncar, O. E., Rathje, E. M. & Buckley, S. M. (2013). Deformations of a rapidly moving landslide from high-resolution optical satellite imagery. In *Geo-Congress 2013: Stability and Performance of Slopes and Embankments III*, 269-278.
- [12] Barisin, I., Leprince, S., Parsons, B. & Wright, T. (2009). Surface displacements in the September 2005 Afar rifting event from satellite image matching: Asymmetric uplift and faulting. *Geophysical Research Letters*, 36(7).
- [13] Stumpf, A., Malet, J. P., Allemand, P. & Ulrich, P. (2014). Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 95, 1-12.
- [14] Scherler, D., Leprince, S. & Strecker, M. R. (2008). Glacier-surface velocities in alpine terrain from optical satellite imagery—Accuracy improvement and quality assessment. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3806-3819.
- [15] Avouac, J. P., Ayoub, F., Leprince, S., Konca, O. & Helmberger, D. V. (2006). The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3-4), 514-528.
- [16] Taylor, M. H., Leprince, S., Avouac, J. P. & Sieh, K. (2008). Detecting co-seismic displacements in glaciated regions: An example from the great November 2002 Denali earthquake using SPOT horizontal offsets. *Earth and Planetary Science Letters*, 270(3-4), 209-220.
- [17] Necsoiu, M., Leprince, S., Hooper, D. M., Dinwiddie, C. L., McGinnis, R. N. & Walter, G. R. (2009). Monitoring migration rates of an active subarctic dune field using optical imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2441-2447.
- [18] Haque, D. M. E. (2016). 3D surface deformation model from sub-pixel correlation of optical imagery and InSAR. *University of Twente (Yüksek Lisans Tezi)*, 71s, Enschede, The Netherlands.
- [19] Mazzanti, P., Caporossi, P. & Muzi, R. (2020). Sliding time master digital image correlation analyses of cubesat images for landslide monitoring: The Rattlesnake Hills landslide (USA). *Remote Sensing*, 12(4), 592.
- [20] Herman, F., Anderson, B. & Leprince, S. (2011). Mountain glacier velocity variation during a retreat/advance cycle quantified using sub-pixel analysis of ASTER images. *Journal of Glaciology*, 57(202), 197-207.
- [21] Türk, T., Görüm, T., Birdal, A. C. & Selçuk, O. (2015) Optik uydu görüntüleriyle heyelan alanlarındaki kütle hareketlerinin incelenmesi: kuzey anadolu fay zonu örneği. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*.
- [22] Ding, C., Feng, G., Liao, M., Tao, P., Zhang, L. & Xu, Q. (2021). Displacement history and potential triggering factors of Baige landslides, China revealed by optical imagery time series. *Remote Sensing of Environment*, 254.
- [23] Ayoub, F., Leprince, S. & Avouac, J. P. (2009). Co-registration and correlation of aerial photographs for ground deformation measurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 551-560.
- [24] Fernandez, P. & Whitworth, M. (2016). A new technique for the detection of large scale landslides in glacio-lacustrine deposits using image correlation based upon aerial imagery: A case study from the French Alps. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 1-11.
- [25] Fernandez, P., Garrido, J. & Delgado, J. (2019). 2D Horizontal Landslide Displacement Estimation by Multi-temporal Image Correlation Techniques. In *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California*, 297-302.
- [26] Sendir, H. & Yılmaz, I. (2001). Koyulhisar heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi*, 18(1), 47-54.
- [27] Demirel, Y. (2022). Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin İncelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 63s, Sivas.
- [28] Demir, G. (2011). Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora Tezi)*, 199s, Trabzon.
- [29] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (2017) Sivas Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Jeolojik Etüt Raporları.
- [30] Toprak, V. (1988). Neotectonic characteristics of the North Anatolian fault zone between Koyulhisar and Süşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci*, 21, 155-166.
- [31] Terzioğlu, N. (1986). Reşadiye, Gölköy ve Koyulhisar Arasındaki Tersiyer-Kuvaterner Yaşlı Volkanitlerin Genel Stratigrafik Özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3.
- [32] Uysal, S. (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi. *MTA Rapor*, 9838.
- [33] Demirel, M., Tatar, O. & Koçbulut, F. (2016). Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Koyulhisar

- (Sivas) ve Yakın Çevresindeki Fayların Kinematik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59(3), 357-370.
- [34] Sendir, H. (2001). Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İncelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 91s, Sivas.
- [35] Hastaoglu, K. O. & Sanli, D. U. (2011). Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GPS: a strategy to remove biases from vertical velocities. *Natural hazards*, 58(3), 1275-1294.
- [36] Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Turk, T., Yılmaz, I., Kocbulut, F., Demirel, M. & Balik Sanli, F. (2018). Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods. *Survey review*, 50(363), 475-486.
- [37] Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y. & Can, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering geology*, 81(1), 65-83.
- [38] Över, D. (2015). Sivas ili Koyulhisar ilçesi Heyelan alanı zemininin Jeofizik yöntemlerle incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek lisans Tezi)*, 77s, Sivas.
- [39] Malet, J.P., Auzet, A.V., Maquaire, O., Ambroise, B., Descroix, L., Estèves, M., Vandervaere J.P. & Truchet, E. (2003). Soil surface characteristics influence on infiltration in black marls: Application to the Super-Sauze earthflow (southern Alps, France) *Earth Surf. Processes Landforms*, 28, 547–564.
- [40] Tatar, O., Aykanat, D., Koçbulut, F., Yılmaz, I., Sendir, H., Kürçer, A. & Sağlam, B. (2000). Koyulhisar İlçe Merkezi ve İlçe Emniyet Amirliği Hizmet Binası Heyelan Etüd ve Değerlendirme Raporu. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*.



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi

Yunus Kaya*¹, Doğukan Temel¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fotogrametri,
3B Model,
Kültürel Miras,
Belgeleme,
Kamera Kalibrasyonu.

ÖZ

Geçmişte yaşamış medeniyetler ile günümüz ve gelecek nesil arasında önemli bir iletişim kaynağı olan kültürel miras eserlerinin korunması ve belgelenmesi önemlidir. Kültürel miraslarda meydana gelen doğal ve yapay nedenlerden oluşan tahribatlar veya yıkımlar belgelenmenin ve metrik bilgilerin önemini daha da artırmaktadır. Kamera ve yapay zeka teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayesinde cep telefonu kameraları neredeyse profesyonel kamera kalitesini sağlayabilmektedir. Bu nedenle günümüzde kültürel miras eserlerine ait turistler, fotoğrafçılar veya araştırmacılar tarafından çekilmiş çok sayıda fotoğraf bulunmaktadır. Fotogrametri yöntemi sayesinde elde edilen fotoğraflardan 3 boyutlu modeller üretilmekte ve model üzerinden hassas metrik bilgi alınabilmektedir. Bu çalışmada Diyarbakır'da bulunan Ulucami kitabeleri, aslan-boğa kabartması ve nişleri cep telefonu ile elde edilen fotoğraflar kullanılarak Hareket Tabanlı Yapısal Algılama yöntemiyle modellenmiştir. Çalışma sonucunda kültürel miras yapıları belgelenmiştir. Ayrıca aslan-boğa kabartması üzerinden çizim yapılmıştır. Bu da fotogrametrik yöntemle elde edilen 3B modeller üzerinden rölöve çizim yapılabileceğini göstermektedir.

Modeling of Cultural Heritage Artifacts with Images Obtained from Smartphone Cameras

Keywords

Remote sensing,
UAV,
Photogrammetry,
DEM,
Camera Calibration.

ABSTRACT

It is important to protect and document the cultural heritage artifacts, which are an important source of communication between the civilizations that lived in the past and the present and future generations. Destructions caused by natural and artificial causes in cultural heritages increase the importance of documentation and metric information. Thanks to the rapid developments in camera and artificial intelligence technology, mobile phone cameras can provide almost professional camera quality. Therefore, today, there are many photographs taken by tourists, photographers or researchers belonging to cultural heritage artifacts. Thanks to the photogrammetry method, 3D models can be produced from the photographs obtained and precise metric information can be obtained from the model. In this study, Ulucami inscriptions, lion-bull reliefs and niches in Diyarbakır were modeled by Structure from Motion method using photographs obtained with mobile phones. As a result of the study, cultural heritage artifacts were documented. In addition, a drawing was made on the relief of a lion-bull. This shows the possibility of drawing surveys on 3D models obtained by the photogrammetric method.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

{yunuskaya@harran.edu.tr} ORCID ID 0000-0003-2319-4998
{dgkntml2121@gmail.com} ORCID ID 0000-0001-7133-9595

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Kaya, Y. & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(1), 17-22.

1. GİRİŞ

Kültürel miras, ait olduğu dönemde yaşayan toplulukların gelenek-göreneklerini, inançlarını, yaşam biçimini, sanatsal faaliyetlerini ve sosyo-kültürel özelliklerini [32] tarihini ve anılarını temsil ettiği için korunması gerekli olan yapılardır. Bu bakımdan kültürel miraslar geçmiş ile günümüz ve gelecek arasında sıkı sıkıya bir iletişim sağlar. Toplumların kültürel mirası bir tamamlayıcı unsur olarak görmeleri ve kültürel mirasın toplumların geçmişine ayna tutmaları bakımından korunması, bakımı ve gelecek nesillere aktarımı önemlidir. Kültür ve miras varlıkları ekonomik, sosyo-kültürel ve uluslararası etkileşim bakımından önem arz etmektedir [1,2]. Kültürel mirasın zamana bağlı deformasyonu doğal veya yapay nedenlerle tahribatı nedeniyle zamanla bakıma ve yenilemeye ihtiyaç duyabilmektedir [3-5]. Yenileme çalışmalarında yapıların orijinaline benzer düzeltmelerin yapılabilmesi için hassas bir şekilde belgelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle fotogrametrik yöntemle yapılan hassas belgeleme çalışmaları deformasyona uğramış tarihi eserlerin restorasyon projelerine temel oluşturabilir [6].

Kültürel mirasın mimari ve yapısal özellikleri restorasyon çalışmaları için önem arz etmektedir [7]. Arkeolojik eserlerin çizimlerinin yeniden oluşturulması olası veri kayıplarına sebep olacağı için mevcut çizimlerin oluşturulması bu problemin önüne geçecektir [8-10]. Kültürel mirasın geleneksel yöntemlerle modellenmesi zaman ve maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Yapıya ilişkin geleneksel belgeleme işlemleri genellikle elle mimari çizimleri içerdiğinden hem hata olasılığı artmakta hem de iş güvenliği açısından sorunlar oluşabilmektedir. Fotogrameti, sayısal kameralarla çekilmiş iki boyutlu (2B) fotoğraflardan 3B model üretimine olanak sağladığı için sık kullanılan tekniklerdendir. Öte yandan fotogrametri yöntemiyle yapılara ilişkin 3B model ve belgeleme işlemleri risksiz ve düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir [11,12]. Ayrıca farklı zamanlarda üretilen modeller sayesinde yapılarda zaman içinde oluşan değişiklikler hassas bir şekilde belirlenebilmekte ve kayıt altına alınmaktadır.

Kültürel mirasın 3B modellerinin oluşturulması ve belgelenmesi literatürde birçok çalışmaya konu olmuştur. Klasik manuel envanter toplama, topografik yöntemler, fotogrametrik yöntemler ve tarama yöntemleri gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır [13,14]. Bu yöntemler, gelecekte tarihi ve kültürel miras nesnelere büyük faydalar sağlar. Geçmişte belgeleme çalışmaları için klasik ölçüm yöntemleri tercih edilirken yakın zamanda araştırmacılar fotogrametrik yöntemleri tarihi eserlerin belgelenmesinde [15,16] ve karmaşık binaların belgelenmesinde [17,18] kullanmışlardır. Fotogrametri, tarihi bina ve eserlerin 3 boyutlu modellerini üretmek için kültürel mirasın belgelenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır [19-22]. Ulvi ve Toprak [23] çalışmalarında kültürel

mirasın belgelenmesinde farklı tekniklerin kullanımına değinmişlerdir. Varol ve arkadaşları [24], Yakar ve arkadaşları [25], Şasi ve Yakar [26] çalışmalarında yakın resim fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen görüntülerden kültürel yapının 3B modelini üretmişlerdir. Kaya ve Yiğit [27], sadece sayısal el kamerası kullanarak Muyi Mubarak Camisi (Taşkent, Özbekistan)'nin 3B modelini üretmişlerdir. Döş ve arkadaşları [28], akıllı telefonların metrik olmayan kameralarından elde edilen fotoğraflarla yakın resim fotogrametrisi yöntemi kullanılarak Fakih Dede Türbesi (Konya) modellenmiş ve belgelenmiştir.

Bu çalışmada Diyarbakır'da bulunan ve köklü bir tarihe sahip Ulucami kitabeleri, aslan-boğa kabartması ve nişleri sadece akıllı telefon kamerası kullanılarak elde edilen fotoğraflar ile modellenmiştir.

2. YÖNTEM

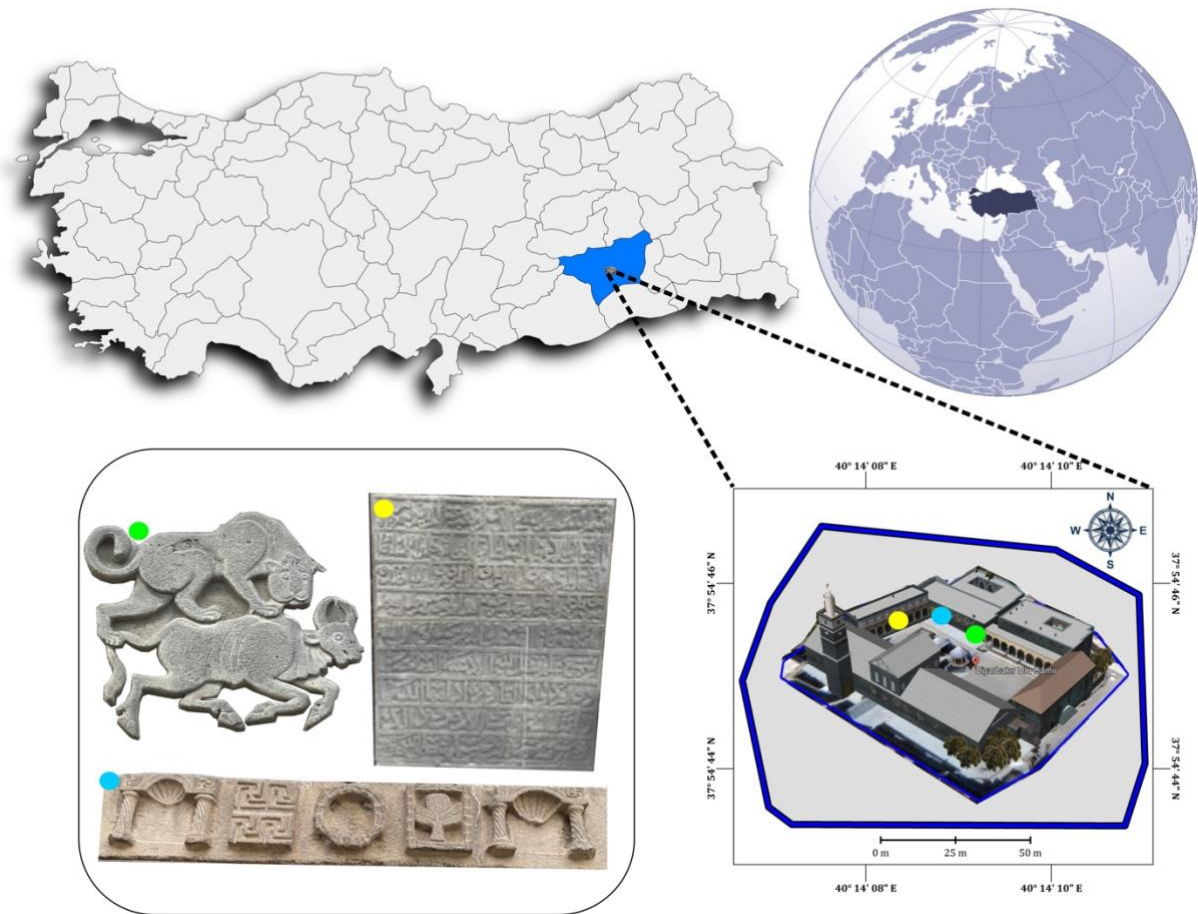
2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde bulunan Ulucami'nin bahçesindeki kitabeleri, aslan-boğa kabartması ve nişler fotogrametrik yöntemle 3B olarak modellenmiştir (Şekil 1). Bir külliye andıran Ulu Camii'nin orta kısmı Hz. Musa zamanında yapılmıştır. Genel mimari olarak Selçuklu hükümdarı Melikşah tarafından inşa edildi. Caminin doğu giriş kapısının iki köşesinde simetrik olarak işlenmiş aslan ve boğanın mücadelesini simgeleyen kabartma bulunmaktadır. Bu kabartma güneşin aya veya karanlığa, iyinin kötülüğe, yerlinin düşmana galibiyeti gibi karşıt fikir veya prensip çatışmalarını sembolize eder. Caminin batı kenarındaki niş ve sütunçelerin Büyük Selçuklu ya da Roma dönemine ait olduğu düşünülmektedir. 5 farklı sembol soldan sağa sırasıyla; caminin alt kısmında olduğu düşünülen mahzeni, labirenti, cami haritasını, mahsen çıkışı ve insanlığın ölümünü sembolize etmektedir. Anadolu Selçuklu dönemine ait kitabe ise Sultan Gıyaseddin'in vergi kararlarını içermektedir. Kitabenin yazıldığı taşın boyutu yaklaşık 1.36 x 1.15 metredir [29].

Kültürel miras eserlerinin olası bir tahribatta zarar gören kısımlarının restorasyonunda fotoğrafların veya tek stereo çiftinin kullanılması yetersiz olabilmektedir. Bu nedenle, hemen hemen tüm fotoğrafların hedef objeyi bir bütün olarak kapsaması gerekmektedir. Gözlem noktalarının seçiminde çekim düzeninin sağlanmasına ve ardışık çerçevelerin en az %60 oranında bindirmeli olmasına özen gösterilmelidir. Objelerin 3B modellerinin eksiksiz bir şekilde oluşturulabilmesi için fotoğraf çekiminin -objenin yapısına göre- daire veya yarım daire şeklinde ve bindirmeli olarak yapılması gerekmektedir [30,31]. Bu çalışmada objeler duvar üzerindeki kabartmalardan oluştuğu için fotoğraf çekimleri yarım daire şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bindirmeli fotoğraf çekimi akıllı telefon kamerası gibi dahili yönlendiricisi bilinmeyen veya kalibre edilmemiş bir kameranın görüntülerini

kullanırken doğruluğu artırmaya yardımcı olmaktadır. Bu nedenle demet dengelemesi yersel fotogrametride yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmada kabartma ve kitabe objelerini modellemek için obje fotoğrafları Iphone 12 Pro telefonu ile bindirmeli olarak çekilmiştir. Akıllı telefonun kamera özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. 3B modeli yapılacak objelerin fotoğrafları, tüm nesneyi kapsayacak şekilde farklı açılardan ve farklı mesafelerden çekilmiştir. Fotoğraf çekimi sırasında güneşin geliş açısı ve gölge durumuna özen gösterilmiştir. Cisimlere olası bir zarar vermemek için herhangi bir temas yapılmamıştır. Üretilen modeli ölçeklendirmek için model üzerinden çelik şerit metre ile ölçümler alınmıştır. Niş, aslan-boğa kabartması ve kitabe için sırasıyla 75, 54 ve 82 adet yersel fotoğraf kullanılmıştır. 3B modelin gerçek

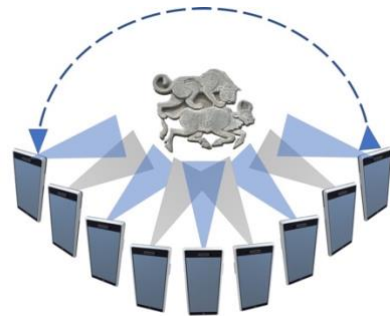
ölçekte yapılması amaçlandığı için objeler üzerinden çelik şerit metre ile ölçüm yapılmıştır. Çalışmada kullanılan belgeleme için iş akış şeması Şekil 3’te gösterilmiştir. Arazi çalışması tamamlandıktan sonra 3B model oluşturmak için literatürde en sık kullanılan fotogrametrik yazılımlardan biri olan Agisoft Photoscan tercih edilmiştir. Agisoft Photoscan yazılımında kamera kalibrasyonları otomatik olarak yapıldığı için zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Bu sayede farklı kameralarla çekilen veri setlerinin birlikte kullanımı mümkündür. 3B modeli üretmek için ilk önce hizalama (align) işlemi yapılmıştır ve bağlantı noktaları (tie point) üretilmiştir. Daha sonra yoğun nokta bulutu ve katı (mesh) model oluşturulmuştur. Son olarak da yüksek çözünürlüklü 3B model oluşturulmuştur.



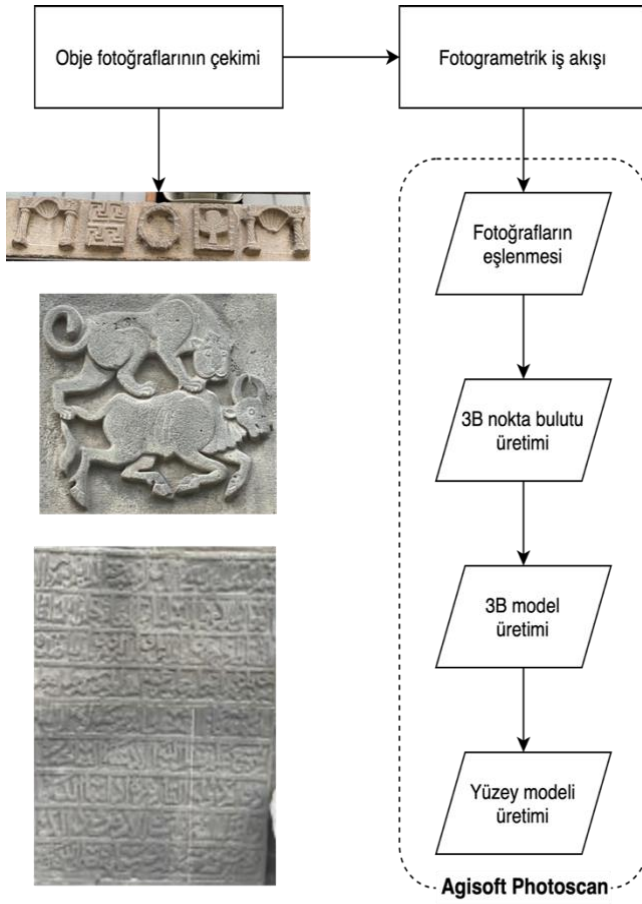
Şekil 1. Çalışma alanı

Tablo 1. Kamera teknik özellikleri

Model	Iphone 12 Pro
Çözünürlük	4031 x 3024
Fokal uzaklığı	26 mm
Piksel Boyutu	1.39 x 1.39 µm
Ön kalibrasyon Gerekliliği	Gerekli değil



Şekil 2. Yersel fotogrametri için fotoğraf çekme sistemi



Şekil 3. İş akış grafiği

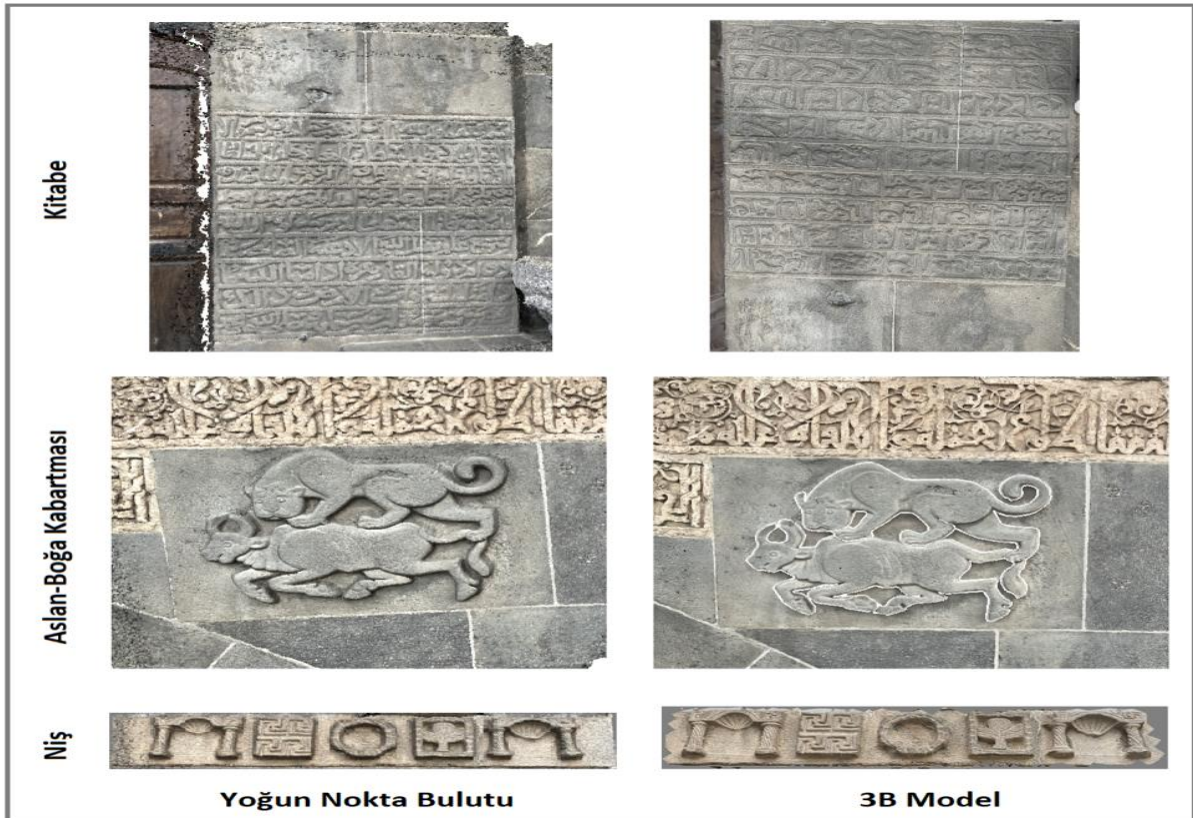
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada tarihi Diyarbakır Ulucamii'nde bulunan kabartma aslan-boğa heykeli, beş niş ve sütunçeler ve kitabenin 3B modellenmesi ele alınmıştır. Kitabeye ve kabartmaların sayısal olarak belgelenmesi için fotogrametri yöntemi ile 3B modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Üç farklı obje için arazide çok sayıda fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğraflardan sırasıyla 75, 54 ve 82 adeti model üretiminde kullanılmıştır. Detaylı işlemlere sahip kabartmalar ve kitabenin tam olarak modellenebilmesi için mümkün olduğunca objelerin her yönden bindirmeli fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar iş akışı grafiğinde verilen prosedür doğrultusunda işlenmiştir. Ayrıca aslan-boğa kabartması üzerinden örnek çizim oluşturulmuştur. Klasik rölöve çizimlerdeki maliyet ve zorluklar göz önüne alındığında 3B model üzerinden çizim yapılabilmesi birçok yönden avantaj sağlamaktadır (Şekil 4).

Çalışmada üretilen 3B modeller farklı formatlara dönüştürülebilir. Bu sayede gelecekte yapılacak olan yenileme ve bakım çalışmalarında altlık veya referans veri olarak kullanılabilir. Üretilen modellere ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de de görüldüğü gibi çalışmada kullanılan objelere ait nokta bulutları fotoğraf sayısı ile paraleldir. En düşük sekiz milyon üzerinde 3B nokta üretilen objelere ilişkin modeller yüksek yoğunluk ile üretilmiştir. Nokta bulutlarından elde edilen modeller gerçek dokuları ile kaplanarak fotogerçekçi modeller elde edilmiştir.



Şekil 4. Objelere ilişkin yoğun nokta bulutu ve 3B model

Tablo 2. 3B modellere ait bilgiler

	Fotoğraf Sayısı	Yoğun Nokta Bulutu	3B Model Üçgen Sayısı
Aslan-boğa kabartması	54	11,7 milyon	72 bin
Niş	82	14,6 milyon	97 bin
Kitabe	75	13,2 milyon	91 bin

4. SONUÇLAR

Kültürel mirasın günümüzde korunması ve gelecek nesillere aktarılması toplumların sosyo-kültürel değerlerinin korunması bakımından önem arz etmektedir. Doğal ve yapay nedenlere bağlı olarak kültürel miras eserleri zamanla tahrip olmakta veya kısmen ya da tamamen yok olabilmektedir. Bu nedenle günümüzde varlığını sürdüren kültürel miras yapılarının belgelenmesi, eserlerin korunumu, bakımı ve gelecek nesillere aktarımı için önemlidir. Geçmişte klasik yöntemlerle yapılan belgeleme çalışmaları hem büyük bir iş yükü gerektirmekte hem de hassasiyet ve doğruluk bakımından dezavantaj oluşturmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak hızlı bir ilerleme kaydeden fotogrametri yöntemi, kültürel mirasın 3B modelinin üretilmesinde ve belgelenmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Fotogrametrik yöntemle oluşturulan 3B model üzerinden ölçü alınması yenileme çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca gerçek dokuyla kaplı fotogerçekçi bir model, sanal müze ve artırılmış gerçeklik gibi birçok alanda kullanım imkanı sunmaktadır. Cami bahçesinde bulunan aslan-boğa kabartması, kitabe ve nişlerin 3B modeli için öncelikle arazi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Arazi ölçümleri sırasında modellerinin karakteristik köşelerinin ölçülmesi ve gerçek dokularının kullanılmasıyla fotogerçekçi bir model elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen modeller eserlerin sayısal olarak arşivlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu sayede ileride yapılacak restorasyon ve restitüsyon çalışmalarında da 3B modeller kullanılabilir. Çalışmada üretilen 3B modelin yanında aslan-boğa kabartması üzerinde çizim yapılmıştır. Klasik rölöve hazırlama yöntemleriyle kıyaslandığında fotogrametrik teknikler hem daha doğru sonuçlar sağlamakta hem de zaman ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Sonuç olarak fotogrametrik yöntemle 3B modellerin üretilmesi yaklaşımı, dijital belgeleme ve 3B model üretimi çalışmalarında kullanılabilir. Önümüzdeki çalışmalarda Diyarbakır ilindeki diğer kültürel miras eserlerinin de modellenerek sayısal ortamda parçaların birleştirilmesi planlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yunus Kaya: Literatür taraması, makalenin yazımı.

Doğukan Temel: Arazi çalışmasının yapılması, 3B modellerin üretimi

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

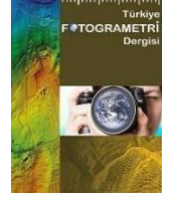
Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- [2] Polat, N., Önal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S. & Mutlu, S. (2021). Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 594-601.
- [3] Castellini, P., Abaskin, V. & Achimova, E. (2007). Portable electronic speckle interferometry device for the damages measurements in veneered wood artworks. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 225-233.
- [4] López-Aparicio, S. & Grašiene, R. (2013). Screening indoor air quality evaluation in the Lithuanian theatre, music and cinema museum. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21, 52-58.
- [5] Varas-Muriel, M. J., Fort, R., Martínez-Garrido, M. I., Zornoza-Indart, A. & López-Arce, P. (2014). Fluctuations in the indoor environment in Spanish rural churches and their effects on heritage conservation: Hygrothermal and CO2 conditions monitoring. *Building and Environment*. 82, 97-109.
- [6] Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- [7] Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station-based methods. *Lasers in Eng*, 19, 331-345.
- [8] Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2020). 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.
- [9] Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.
- [10] Sužiedelytė-Visockienė, J., Bagdžiūnaitė, R., Malys, N., & Maliene, V. (2015). Close-range photogrammetry enables documentation of environment-induced deformation of architectural heritage. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(6).
- [11] Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K. & Labeledz, P. (2021). Digital Modelling and Accuracy Verification of a Complex Architectural Object Based on Photogrammetric Reconstruction. *Buildings* 11(5).
- [12] Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yüzer, M. M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- [13] Böhler, W. and G. Heinz. (1999). Documentation, surveying, photogrammetry. *XVII CIPA Symposium*, Recife, Olinda.
- [14] Scherer, M. (2002). About the synthesis of different methods in surveying. *XVIII Int. Symposium of CIPA*, Posdam, Germany.
- [15] Di Angelo, L., Di Stefano, P., Guardiani, E. & Morabito, A. E. M. (2021). A 3D Informational Database for Automatic Archiving of Archaeological Pottery Finds. *Sensors*, 21(3).
- [16] Apollonio, F. I., Fantini, F., Garagnani, S. & Gaiani, M. (2021). A Photogrammetry-Based Workflow for the Accurate 3D Construction and Visualization of Museums Assesses. *Remote Sensing*, 13(3).
- [17] Reinoso-Gordo, J. F., Gámiz-Gordo, A. & Barrero-Ortega, P. (2021). Digital Graphic Documentation and Architectural Heritage: Deformations in a 16th- Century Ceiling of the Pinelo Palace in Seville (Spain). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 85.
- [18] Donato, E. & Giuffrida, D. (2019). Combined Methodologies for the Survey and Documentation of Historical Buildings: The Castle of Scalea (CS, Italy). *Heritage*, 2(3), 2384-2397.
- [19] Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 8, 423-427.
- [20] Uslu, A. & Uysal, M. (2017). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği. *Geomatik Dergisi*, 2(2), 60- 65.
- [21] Uslu, A., Polat, N., Toprak, A.S., & Uysal, M. (2016). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği. *Electronic Journal of Map Technologies*, 8(2), 165-176.
- [22] Zeybek, M. & Kaya, A. (2020). Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği. *Geomatik*, 5(1), 47-57.
- [23] 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.
- [24] Varol, F., Ulvi, A. & Yakar, M. (2018). Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Yersel Fotogrametri Tekniğinin Kullanılması: Sazak Köprüsü Örneği, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(57), 986-991.
- [25] Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıncı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi, *Geomatik Dergisi*, 1(1), 14-18.
- [26] Şasi, A., & Yakar, M. (2017). Photogrammetric Modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) Using an Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11
- [27] Kaya Y. & Yiğit, A. Y. (2020). Dijital El Kameraları Kullanılarak Kültürel Mirasın Belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 33-38.
- [28] Döş, M. E., Yiğit, A. Y. & Uysal, M. (2021). Documenting historical monuments using smartphones: a case study of Fakih Dede Tomb, Konya. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 53-60.
- [29] Haspolat, Y. K. (2014). Diyarbakır Ulu Camii, e-kitap, ISBN: 978-605-9064-04-0.
- [30] Asri, İ. & Çorumluoğlu, Ö. (2007). Büyük Objelerde Tarihi Dokümantasyon ve Tanıtım Amaçlı Gpsit Destekli Digital Fotogrametrik 3B Modelleme. *TUFUAB IV. Teknik Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.
- [31] Skabek, K. & Tomaka, A. (2014). Comparison of photogrammetric techniques for surface reconstruction from images to reconstruction from laser scanning. *Theor. Appl. Informat.* 26, 161- 178.
- [32] 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.





Nokta Bulutu Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması

Eren Can Seyrek^{*1}, Ömer Gökberk Narin¹, Muhammet Mustafa Eroğlu¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel fotogrametri,
Sayısal yüzey modeli,
Nokta bulutu,
Robotik total station.

ÖZ

Günümüz dünyasında haritacılık artık kâğıt çıktılarından daha çok sayısal halde çevrimici olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Bu da haritaları son ürün olmaktan daha çok farklı mesleki disiplinler için altlık oluşturmaktadır. Bu kapsamda 3 boyutlu modellerin hızlı ve daha ucuz şekilde oluşturulması oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında nokta bulutu üretiminde sayısal tek mercek yansımali (Digital single lens reflex-DSLR) fotoğraf makinesi (Canon EOS 1200D) ile cep telefonu kamerası (Samsung S6) karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma alanı olarak yüksek eğimli toprak şev bir arazi seçilmiştir. Bu kapsamda 4 farklı model üretilmiştir ve bu modeller hem yer kontrol noktalarıyla hem de robotik total station ile üretilmiş nokta bulutu ile test edilmiştir. Fotoğraf makinesi ile üretilmiş modellerde daha yoğun nokta bulutları elde edilmiştir. Ayrıca modeller için Karesel Ortalama Hata (KOH) hesabı gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonucunda en düşük KOH değeri fotoğraf makinesi ile oluşturulan Model 1 için X, Y ve Z'de sırasıyla ± 2.11 mm, ± 1.78 mm, ± 1.00 mm olarak; en düşük KOH değeri cep telefonu ile oluşturulan Model 3 için X, Y ve Z'de sırasıyla ± 22.90 mm, ± 33.18 mm, ± 18.53 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre cep telefonu kamerası ile elde edilen modeller daha kötü sonuçlar verse de maliyet açısından düşünüldüğünde çalışmalarda cep telefonu kameraları da tercih edilebilir.

Investigation of Cell Phone and DSLR Camera Usage in Point Cloud Generation

Keywords

Terrestrial
photogrammetry,
Digital surface model,
Point cloud,
Robotic total station.

ABSTRACT

In today's world, maps are now offered to users online in digital form rather than paper printouts. Instead of being a finished product, the maps serve as a foundation for various professional disciplines. In this context, it is critical to produce 3D models more quickly and at a lower cost. Within the scope of this study, a comparison of a DSLR camera (Canon EOS 1200D) and mobile phone (Samsung Galaxy S6) was made in point cloud generation. A high sloped cut slope was chosen as the study area. Based on this framework, 4 different models were produced and these models were tested both with ground control points and with point cloud produced by robotic total station. The dense point clouds created using the Canon EOS 1200D DSLR camera were found to be denser than those created with a mobile phone. In addition, models were tested by calculating Root Mean Squared Error (RMSE). As a result of these tests, the best resulting model is the Model 1 obtained with Canon EOS 1200 DSLR, which has ± 2.11 mm, ± 1.78 mm, ± 1.00 mm in RMSE in X, Y, and Z axes, while the worst resulting model is the Model 3 obtained with Samsung Galaxy S6, which has ± 22.90 mm, ± 33.18 mm, and ± 18.53 mm RMSE in X, Y, and Z axes. According to these results, although the models obtained with the mobile phone camera give worse results, when considering the cost, mobile phone cameras can also be preferred.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(ecseyrek@aku.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1300-4898
(gokberknarin@aku.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9286-7749
(mustafa.eroglu177@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-5540-2005

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Seyrek, E. C., Narin, Ö. G. & Eroğlu, M. M. (2022). Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(1), 23-29

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknolojiler ile verilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla 3 boyutlu (3B) şekilde sunulması önem kazanmıştır. Dünya üzerindeki objelerin sayısal olarak bilgisayar ortamında sunulması için öncelikli olarak topoğrafyanın (tabii ve suni ayrıntıların tamamı) hatasız şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Harita Mühendisliğinin birincil amaçlarından birisi olan topoğrafyanın belirlenmesi işlemi, yıllar içerisinde birçok farklı cihaz, ölçme yöntemi ve metot ile yapılmıştır. Optik algılayıcıların ve fotoğraf makinelerinin icadı ile birlikte fotogrametrik yöntemler ortaya çıkmıştır ve Sayısal Yüzey Modelleri (SYM) elde etmek daha hızlı ve basit hale gelmiştir. Özellikle dijital fotoğraf makinelerinin yaygınlaşması sayesinde veri toplama süreci basitleşmiş olup Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure-from-Motion - SfM) metodu ile kamera kalibrasyonu parametreleri ve fotoğrafın konumu bilinmeksizin nokta bulutu üretebilme kabiliyeti arazi hazırlık ve arazi çalışmalarını oldukça hızlandırmıştır [1-4].

Thoeni ve arkadaşları [3] 2014 yılında yaptıkları çalışmada çeşitli fotoğraf makineleri ve yersel lazer tarayıcıyla elde edilen 3 boyutlu modelleri kıyaslamışlardır. Çalışma kapsamında GoPro Hero 1080, iPhone 4S, Panasonic Lumix LX5, Panasonic Lumix ZS20 ve Canon EOS 7D dijital fotoğraf makineleri verileri kullanılarak Agisoft Photoscan yazılımı ile yoğun nokta bulutları üretilmiş ve elde edilen nokta bulutları FARO Focus 3D yersel lazer tarayıcı verisiyle kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda DSLR fotoğraf makineleri yerine mobil telefonların ve kompakt kameraların iyi bir çekim planı dahilinde kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir. Niederheiser ve arkadaşları [4] 2016 yılında yaptıkları çalışmada farklı yazılımlar ve donanımların karşılaştırılması ile SYM oluşturmadaki performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak yaklaşık 60 m² büyüklüğünde, bitki örtüsü kaplı yüksek eğimli kayalık yapıya sahip bir alan seçmişlerdir. Çalışmalarında donanım olarak, Canon 5D, Konica KD-310Z, GoPro Hero3+ Black Edition, Nikon D3000 kameralarını ve LG-D331 marka akıllı cep telefonu, yazılım olarak, Agisoft PhotoScan Pro, Pix4D, Visual SFM, SURE ve MicMac kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda donanımlardan elde edilen görüntüler ile tüm yazılımların paketleriyle hesaplanabileceği belirtmişlerdir. Ayrıca oluşturulan profillerin çok benzer oldukları sonucuna varmışlardır. Canon 5D ve Nikon D3000 markalı fotoğraf makinelerinin en iyi nokta bulutu ürettiğini ama donanımın pahalı olması sebebiyle akıllı telefon kamerası ve nispeten daha ucuz olan Konica markalı fotoğraf makinesinin de doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Yılmaztürk ve Gürbak [5] 2018 yılında yaptıkları iki aşamalı çalışmada öncelikle olarak farklı cep telefonu kameralarının (Htc Sensation XE, Apple iPhone 5, Samsung Galaxy S4) ve fotoğraf makinasının (Canon ixus 960 IS) 3B test alanı üzerinde kalibrasyonları gerçekleştirmişlerdir. Ardından ilk test alanında en

iyi sonucu veren Samsung Galaxy S4 cep telefonu ile tarihi bir kümbeti modellemişlerdir. Çalışmanın sonucunda cep telefonu kameralarının fotogrametrik çalışmalarında kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Yakar ve Bilgi [6] 2019 yılında mobil telefonların kültürel mirasın korunması kapsamında kullanılabilirliği üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada III. Ahmet çeşmesini modellenmişlerdir. Çalışmada donanım olarak Samsung A5 marka cep telefonu kullanmışlardır. Doğruluk analizi arazi çalışmalarında elde ettikleri 44 tane uzunluğu üretilen model ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda modelin hassasiyetini ± 2.56 cm olarak bulmuşlardır. Çalışmanın sonucunda kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında cep telefonlarının iyi bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir. Constantino ve arkadaşları [7] 2020 yılında yaptıkları çalışmada akıllı telefonlarla çekilmiş görüntülerden üretilen nokta bulutlarının kültürel mirasların dokümantasyon çalışmalarındaki kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada Huawei P20 Lite, iPhone X, Redmi Note 7 ve Nikon D3300 (10 mm ve 18 mm lens ile olmak üzere) ile elde edilen görüntülerden üretilmiş nokta bulutlarını yersel lazer tarayıcıyla elde edilen nokta bulutu ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda başta Huawei P20 Lite olmak üzere cep telefonlarının yüksek doğruluk sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında farklı cep telefonlarının benzer sonuçlar verdiğini profesyonel kameralar için iyi daha ucuz bir alternatif olacağı belirtilmiştir. Çalışmalardaki doğruluk analizleri genelde modellerin üretim doğruluklarının karşılaştırılmasına ve birbirleri arasındaki ilişkilere bakıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada sayısal tek mercek yansımali (Digital Single Lens Reflex-DSLR) kamera ve cep telefonu kamerasının SfM süreciyle yoğun nokta bulutu üretimindeki performansının kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma alanı yüksek eğim içeren toprak bir şev belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Canon EOS 1200D marka DSLR fotoğraf makinesi ve Samsung Galaxy S6 cep telefonu kamerası kullanılarak alanın bindirmeli görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüler kullanılarak 4 farklı model üretilmiştir. Ayrıca çalışma alanının yüzeyi robotik total station ile 5 cm grid aralığı kullanarak taranmış ve elde edilen veri baz alınarak modellerin doğruluğu analiz edilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Ekipman ve Arazi Çalışması

Çalışma sürecinde detay ölçümü ve yüzey taraması için Spectra Focus 35 robotik total station; fotogrametrik görüntülerin elde edilmesi için Canon EOS 1200D DSLR kamera ve Canon EF-50mm f/1.8 II marka sabit odak uzaklığına sahip lens ile Samsung Galaxy S6 cep telefonu kullanılmıştır. Kullanılan cihazların görselleri Şekil 1'de yer almaktadır. Robotik total station cihazının teknik özellikleri Tablo

1'de, fotoğraf makinelerinin özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Üç aşamadan oluşan ve Şekil 2'de iş akış şeması verilen arazi çalışmasının ilk aşamasında kontrol noktalarının ölçümü için gerekli olan poligonlar Stonex S8N marka GNSS alıcıyla TUSAGA-Aktif servisi kullanılarak tesis edilmiştir. Şev yüzeyinde yer kontrol noktası (YKN) ve denetleme noktası (DN) olarak kullanılmak üzere yerleştirilen 20 adet kâğıt hedefin koordinatlarının ölçümü Spectra Focus 35 marka robotik total station kullanılarak reflektörsüz okuma şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Canon EOS 1200D DSLR fotoğraf makinesi, Samsung Galaxy S6 cep telefonu ve Spectra Focus 35 robotik total station

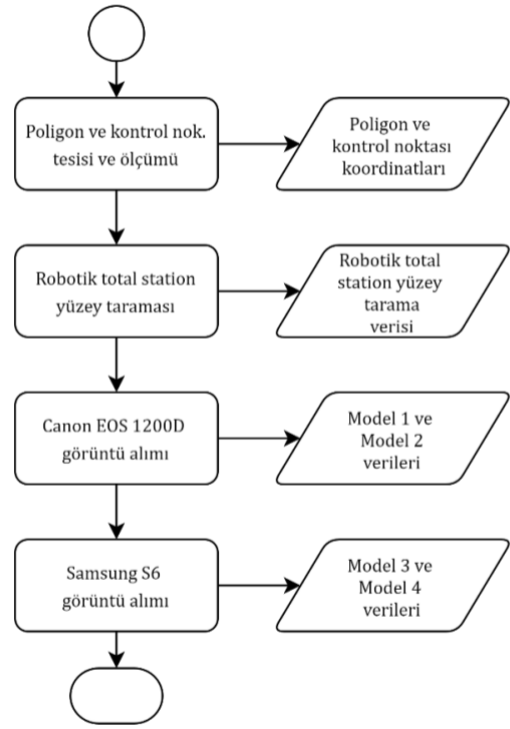
Tablo 1. Spectra Focus 35 robotik total station teknik özellikleri [8]

Özellik	Değer
Açı hassasiyeti	1" 2" 3" 5"
Mesafe hassasiyeti (<300m)	3 mm + 2 ppm
Reflektörlü okuma mesafesi (Tek prizma - üçlü prizma)	4000 m - 7000 m

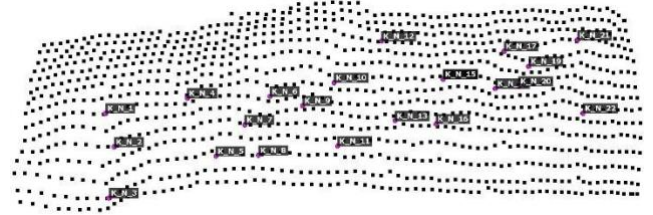
Tablo 2. Kameraların teknik özellikleri

Özellik	Canon 1200D + EF 50mm	Samsung Galaxy S6
Sensör boyutu (µm)	4.4	1.09
Çözünürlük (piksel)	5184 × 3456	5312 × 2988
Odak uzaklığı (mm)	50	4.3
Diyafram açıklığı	f/1.8	f/1.9

Arazide gerçekleştirilen çalışmanın ikinci aşamasında robotik total station kullanılarak yüzey taraması gerçekleştirilmiştir. Tarama için belirlenen nokta mesafesi 5 cm'dir. İşlem sonucunda fotogrametrik süreçle elde edilen seyrek nokta bulutlarının kıyaslanması için referans yüzeyi oluşturacak olan ve 1113 noktadan oluşan bir yüzey taraması (Şekil 3) elde edilmiştir.



Şekil 2. Arazi çalışması iş akış şeması



Şekil 3. Robotik total station ile elde edilen kontrol noktaları ve yüzey taraması

Arazide gerçekleştirilen çalışmanın üçüncü aşamasında fotogrametrik görüntülerin elde edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf makinelerinin ve bindirme miktarlarının kıyaslanması amacıyla 4 farklı çekim gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Bindirme oranlarının kesin olarak hesaplanmadığı çalışmada belirli bir ölçü planı yapılmamış olup görüntülerin tamamı jeo-referanssız olarak elde edilmiştir. Canon EOS 1200D ile gerçekleştirilen çekimlerde kullanılan sabit odak uzaklığına sahip lensin yapısı gereği oluşan alan derinliği etkisinden kaçınmak için diyafram değeri f/14 olarak ayarlanmıştır.

Tablo 3. Çekim modellerine ait bilgiler.

Model No	Fotoğraf Makinesi	Görüntü Sayısı
1	Canon EOS 1200D	13
2	Canon EOS 1200D	46
3	Samsung Galaxy S6	27
4	Samsung Galaxy S6	26

2.2. Verilerin değerlendirilmesi

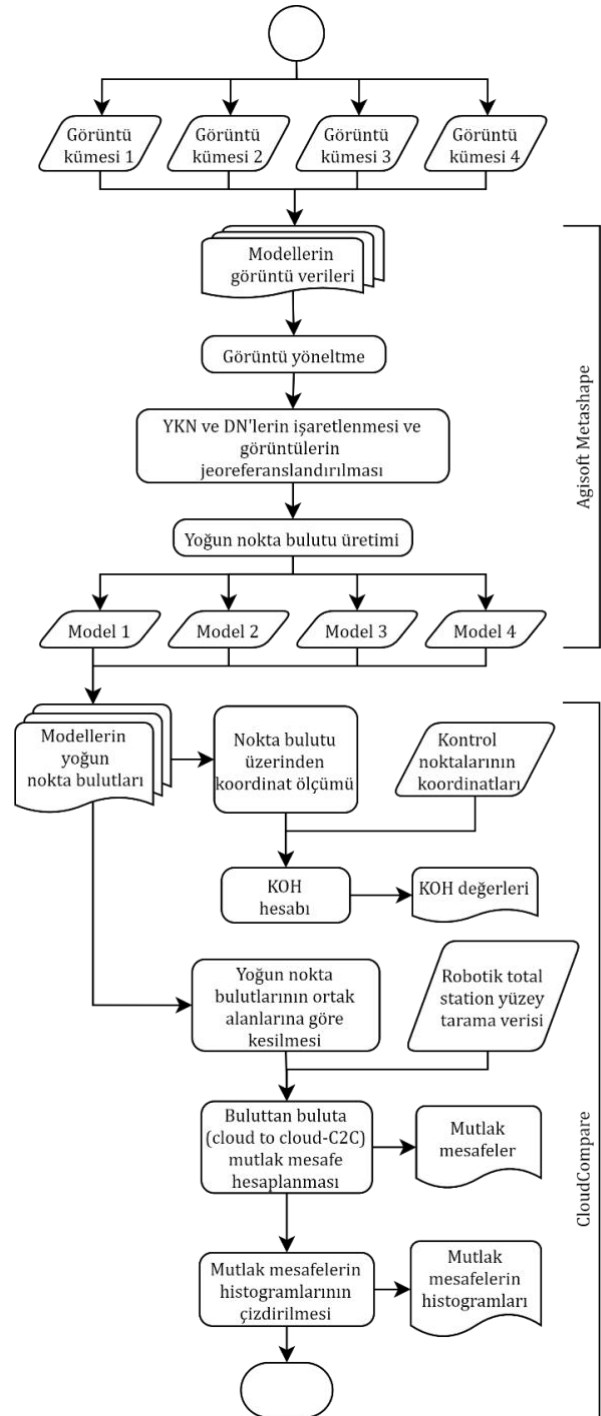
Çalışmada elde edilen dijital görüntülerin değerlendirilmesi ve analizi için iş akış şeması Şekil 4'te gösterilmiştir. Verilerin fotogrametrik olarak değerlendirilmesi için Agisoft Metashape yazılımının 1.7.6 sürümü kullanılmıştır. Metashape yazılımı temelde SfM sürecini kullanan ticari bir yazılımdır. Metashape SfM süreci iki ana bileşen içerir: (1) eşlenik nokta algılama ve görüntüler arasında eşleştirme kullanarak kamera konumunu ve yönünü hesaplayarak görüntü hizalamak; (2) stereo eşleştirmeden hesaplanan derinlik haritalarını kullanarak yoğun nokta bulutu oluşturmaktır [9]. Çalışmada görüntülerin yönlendirilmesi ile seyrek nokta bulutu oluşturulması ve ardından yoğun nokta bulutu oluşturulması işlemleri AMD Ryzen 7 4800H işlemci, Nvidia GTX 1650TI ekran kartı (40 CUDA hesaplama birimi) ve 16 GB bellek içeren bir bilgisayarla gerçekleştirilmiştir. Her model için ilk aşamada görüntülerin sıralı çekilmesi sebebiyle, eşlenik noktaların birbiriyle ardışık dosya isimlerine sahip görüntülerde aranmasını sağlayan sıralı (sequential) ön seçim ayarı [10] etkinleştirilip yüksek (high) doğruluk modunda görüntü yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından her model için modelde yer alan kâğıt hedeflerin işaretlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. İşaretlenen hedeflerden Tablo 4'te numaraları ve koordinatları yer alan hedefler YKN olarak; geriye kalan hedefler ise DN olarak kullanılmıştır. Seyrek nokta bulutlarının YKN'lere göre optimize edilmesi işleminin ardından (Şekil 5) her model için yüksek (high) doğruluk modunda yoğun nokta bulutları üretilmiştir.

Tablo 4. YKN koordinatları (ITRF96-TM30; EPSG::5254)

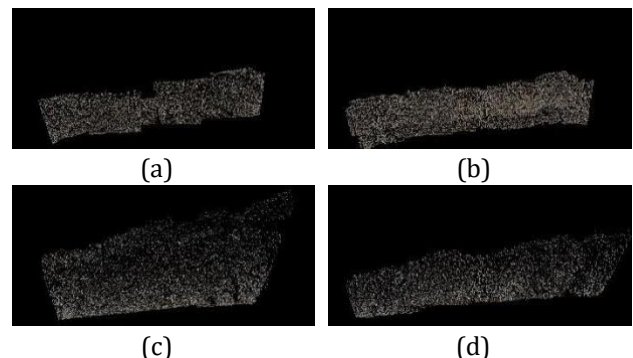
Nokta No	Sağa	Yukarı	Yükseklik
K_N_2	546690.452	4295816.175	1046.382
K_N_4	546691.784	4295816.971	1046.882
K_N_7	546692.843	4295816.846	1046.269
K_N_11	546694.668	4295816.593	1045.929
K_N_15	546696.753	4295817.530	1046.857
K_N_16	546696.621	4295816.942	1046.192
K_N_20	546698.232	4295817.398	1046.792

Fotogrametrik işlemler sonucunda üretilen raporlardan elde edilen kamera konumlarını ve bindirme miktarlarını gösteren grafikler Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6a'dan görüleceği üzere Model 1 için bindirme oranları düşük olduğu görülürken, Şekil 6d'de Model 4'ün en yüksek bindirme oranına sahip olduğu görülmektedir.

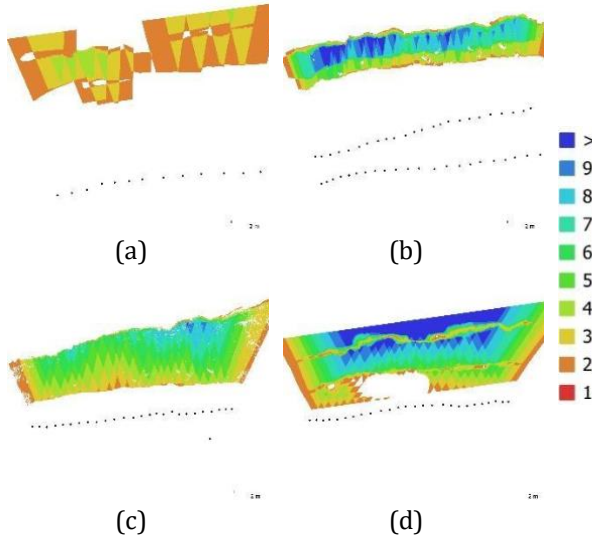
Fotogrametrik işlem süreçlerinin sonucunda üretilen raporlardan elde edilen bilgilerin geri kalan kısmı Tablo 5'te verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere Model 2 en fazla görüntüye sahip olmasının yanında üretilen seyrek nokta bulutları arasında en fazla noktaya sahip olan modeldir.



Şekil 4. Verilerin değerlendirilmesi işlemlerinin iş akışı şeması



Şekil 5. (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 ve (d) Model 4'ten üretilen seyrek nokta bulutları



Şekil 6. (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 ve (d) Model 4 için kamera konumları ve görüntü bindirmeleri

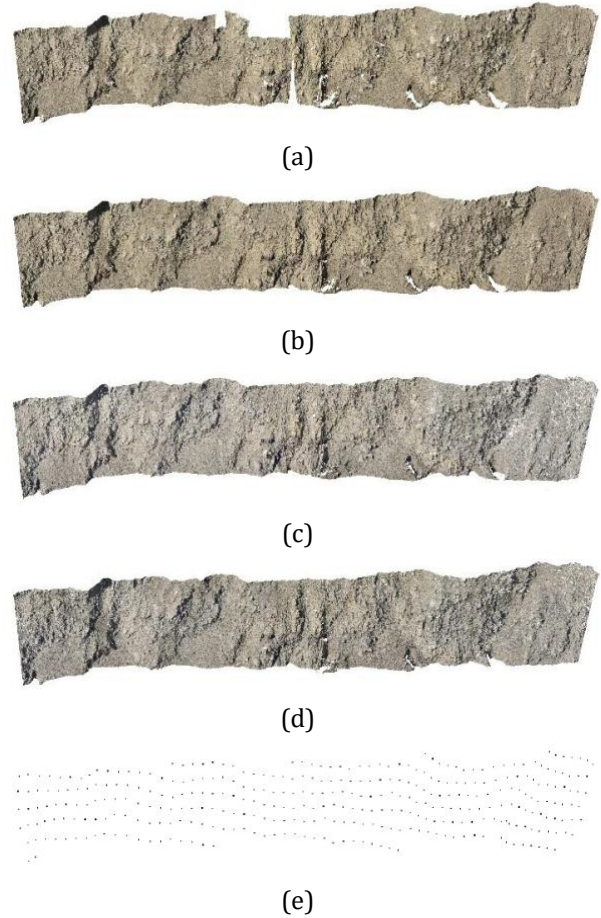
Agisoft Metashape yazılımı tarafından hesaplanan Karesel Ortalama Hata (KOH) miktarları incelendiğinde (Tablo 5), hem YKN hem de DN için hesaplanan KOH değerlerinin, en düşük sayıda fotoğrafa ve bindirme miktarına sahip olan Model 1 için hesaplandığı görülmüştür. Buna karşın Samsung Galaxy S6 cep telefonunun kamerasıyla elde edilen görüntülerden elde edilen Model 3 ve Model 4'ün daha yüksek KOH miktarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Görüntü yöneltme süreleri incelendiğinde Model 1'in en kısa sürede tamamlandığı; Model 4'ün ise en uzun sürede tamamlandığı görülmektedir.

Tablo 5. Agisoft Metashape rapor sonuçları (Kalın yazılar ilgili parametredeki en iyi sonucu belirtmektedir.)

Parametre	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Görüntü sayısı	13	46	27	26
YKN sayısı	7	7	7	7
DN sayısı	13	12	14	13
Seyrek nokta bulutu nokta sayısı	21829	39458	29595	23987
YKN KOH (\pm mm)	X	1.38	2.32	11.35
	Y	0.64	4.61	15.90
	Z	0.62	1.20	7.29
	Σ	1.64	5.29	20.85
DN KOH (\pm mm)	X	2.34	4.83	21.57
	Y	1.97	9.47	41.35
	Z	1.22	1.97	11.36
	Σ	3.30	10.82	48.00
Görüntü yöneltme süresi (saniye)	4	9	8	11

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma kapsamında üretilen modeller, görüntülerin kapsadığı alanların değişkenlik göstermesi ve modelin üretim sürecinde eşlenik noktaların tespitindeki farklılıklar gibi sebeplerden dolayı birbirinden farklı sınırlara sahiptir. Bu sebeple modellerin doğruluk analizi yapılmadan önce üretilen yoğun nokta bulutları ve robotik total station verisinin kesişim bölgesi tespit edilip verilerin tamamı CloudCompare yazılımı kullanılarak kesilmiştir. İşlem sonrasında elde edilen yoğun nokta bulutları ve robotik total station verisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Görüntü bindirmelerinin daha yüksek olduğu alanlarda nokta bulutlarında herhangi bir boşluk oluşmamıştır. Bu bağlamda oluşturulan tüm modeller için iyi bir sonuç elde edildiği söylenebilir. DSLR fotoğraf makinesi verisiyle elde edilen Model 2, aynı alan için en yüksek nokta sayısına sahiptir. Yoğun nokta bulutundaki nokta yoğunluğu, model üretiminde kullanılan görüntülerin çözünürlüğüyle doğrudan ilişkilidir. Modellenen alanda engebenin çok olduğu yerlerde detayların daha iyi modellenmesi için yoğun nokta bulutlarına ihtiyaç vardır. Elde edilen sonuçlar neticesinde Canon EOS 1200D DSLR fotoğraf makinesi ile elde edilen modellerin daha yüksek kalitede model oluşturduğu söylenebilir.

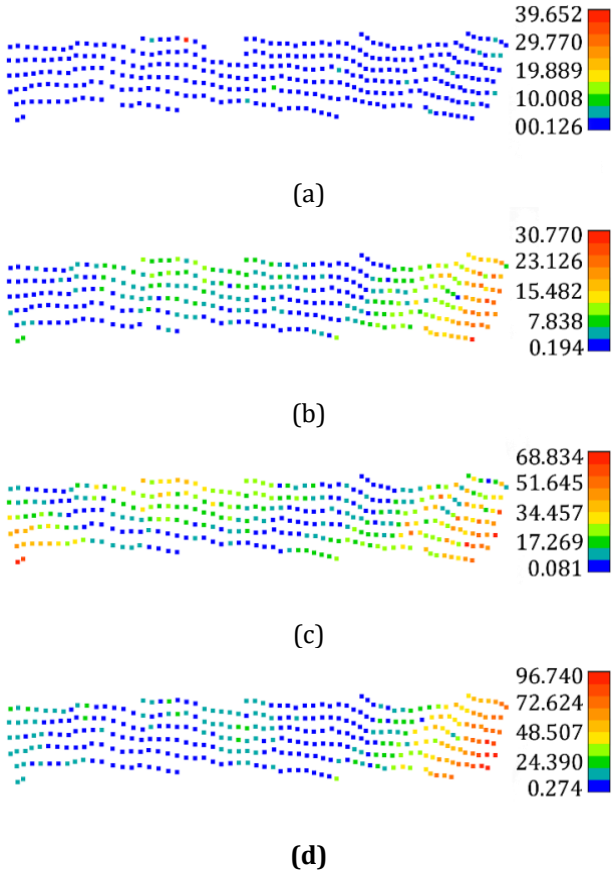


Şekil 7. (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 ve (d) Model 4'ten üretilen yoğun nokta bulutları ile (e) aynı bölgenin yüzey taraması

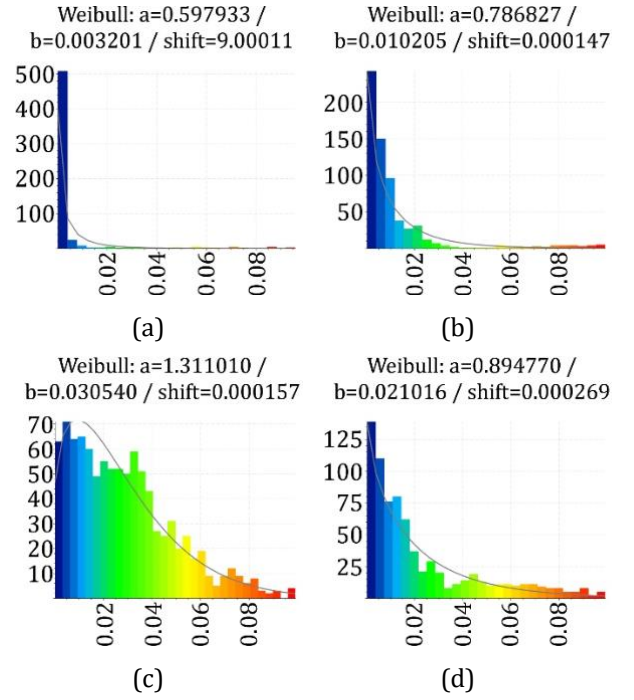
Çalışma bölgesinde alana 26 adet kontrol noktası tesis edilmiştir (Şekil 3). SfM sürecinde bu noktaların 7 tanesi YKN olarak (Tablo 4), geriye kalan noktaları ise DN olarak kullanılmıştır. DN'lerin koordinatları ile modellerin yoğun nokta bulutları üzerinden yapılan ölçüler kullanılarak KOH değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6) Tablodaki kalın yazılan değerler en küçük hata miktarını ifade etmektedir. Elde edilen KOH değerleri incelendiğinde en iyi sonucu Model 1'in verdiği görülmektedir. Modeller için hesaplanan KOH değerleri genel olarak incelendiğinde tüm modeller için hataların ± 3 cm'yi aşmadığı görülmektedir. Bu doğrultuda çalışma sonuçlarının literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla örtüştüğü söylenebilir [3].

Tablo 6. Ölçülen noktalardan hesaplanan KOH değerleri

Model No	Ölçülen Nokta Sayısı	KOH _X (mm)	KOH _Y (mm)	KOH _Z (mm)
1	19	2.11	1.78	1.00
2	19	4.48	8.12	2.01
3	19	11.69	29.04	9.60
4	19	22.90	33.18	18.53



Şekil 8. Robotik total station ile elde edilen yüzey ile (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 ve (d) Model 4'ün yoğun nokta bulutları arasında hesaplanan mesafeler



Şekil 9. Robotik total station ile elde edilen yüzey ile (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 ve (d) Model 4'ün yoğun nokta bulutları arasında hesaplanan mesafelerin histogramları ve Weibull dağılım eğrileri (Düşey eksen nokta sayısını, yatay eksen ise metre biriminde mutlak uzaklığı temsil etmektedir)

Çalışmada ayrıca CloudCompare yazılımı kullanılarak Robotik total station ile 5 cm grid aralığında tarama sonucu elde edilen noktalar ile modellerden elde edilen noktalar arasındaki mutlak mesafeler buluttan buluta (cloud-to-cloud) analiz yöntemiyle karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Canon EOS 1200D DSLR fotoğraf makinesi ile üretilmiş modellerde daha çok dış kısımlarda yoğunlaştığı görülürken Samsung Galaxy S6 marka cep telefonu ile oluşturulan modellerde hataların her alanda olduğu görülmektedir. Özellikle Model 3'te hatanın yoğun bir şekilde orta alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 8c). Hatanın büyüklükleri her ne kadar 5 cm'yi geçmiyor olsa da bu kapsamda değerlendirildiğinde Canon EOS 1200D DSLR fotoğraf makinesinin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir.

Robotik total station yüzey taraması ile modellerin yoğun nokta bulutları arasındaki mutlak mesafelerin histogramları Şekil 9'da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde Model 1 için hata miktarının dağılımının 0.01 m altında yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Model 3 için hata dağılımının 0-0.05 m arasında eşit oranda dağıldığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yoğun nokta bulutu üretiminde DSLR fotoğraf makinesi ile cep telefonu verilerinin doğrulukları çeşitli analizler yapılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada üretilen ve değerlendirilen tüm modeller aynı parametreler ve aynı metotlar kullanılarak üretilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yersel fotogrametri, tarihi alanların dokümantasyonu, mimari çalışmalar ve obje modellemesi gibi farklı disiplin ve alanlarda popüler ve sık kullanılır hale gelmiştir. Bununla birlikte arazi eğimi yüksek, detayın çok olduğu ve küçük alanların modellenmesinde arazilerde de yersel fotogrametri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında üretilen tüm modellerin birkaç santimetre hassasiyetinde sonuçlar verdiği, özellikle DSLR fotoğraf makinesi ile elde edilen verilerin daha yoğun nokta bulutuna sahip olduğu ve daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Ancak DSLR fotoğraf makinelerinin ve çalışmaya uygun olarak seçilecek kamera lenslerinin satın alma maliyetleri yüksektir. Bu durumun aksine akıllı telefonlar günümüzde kullanıcılar tarafından daha ulaşılabilir ve uygun maliyetli bir alternatif olup, günümüzde dünyada 4.5 milyardan fazla cep telefonu olduğu tahmin edilmektedir. Bu perspektiften düşünüldüğünde, yüksek hassasiyet gerektirmeyen çalışmalarda cep telefonları SfM süreciyle yoğun nokta bulutu üretimi için iyi bir alternatiftir. Gelecek çalışmalarda yeni nesil LiDAR sensörleri bulunan cep telefonlarının performansının değerlendirilmesi yapılması planlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Eren Can Seyrek (Literatür Taraması, Fotogrametrik işlem adımları, Sonuçların çıkarılması, Makale yazımı);

Ömer Gökberk Narin (Kurgu, Arazi Çalışması, Sonuçların yorumlanması, Makale yazımı)

Muhammet Mustafa Eroğlu (Arazi Çalışması)

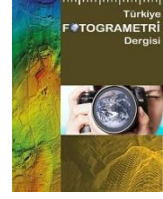
Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences, 203(1153), 405-426.
- [2] Brown, M. & Lowe, D. G. (2005). Unsupervised 3D object recognition and reconstruction in unordered datasets. In Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'05), 56-63.
- [3] Thoeni, K., Giacomini, A., Murtagh, R. & Kniest, E. (2014). A comparison of multi-view 3D reconstruction of a rock wall using several cameras and a laser scanner. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(5), 573.
- [4] Niederheiser, R., Mokroš, M., Lange, J., Petschko, H., Prasicek, G. & Elberink, S. O. (2016). Deriving 3D point clouds from terrestrial photographs-Comparison of different sensors and software. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- [5] Yılmaztürk, F. & Gürbak, A. E. (2018). Yakın resim fotogrametrisinde cep telefonu kameralarının kullanımının araştırılması. *Harita Dergisi*. 159, 44-51.
- [6] Yakar, İ. & Bilgi, S. (2019). Mobil telefonlar kullanılarak elde edilen 3 boyutlu modellerin kültürel mirasın korunması kapsamında kullanılabilirliği: III. Ahmet Çeşmesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 25-29.
- [7] Costantino, D., Pepe, M. & Alfio, V. S. (2020). Point Cloud accuracy of Smartphone Images: Applications in Cultural Heritage Environment. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4).
- [8] Trimble (2022). Spectra Focus 35 catalog. <https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-880116/SG-FOCUS35-Br-v14-web.pdf>, Erişim Tarihi:25/03/2022.
- [9] Tinkham, W. T. & Swayze, N. C. (2021). Influence of Agisoft Metashape parameters on UAS structure from motion individual tree detection from canopy height models. *Forests*, 12(2), 250.
- [10] Agisoft (2021). Agisoft Metashape Pro 1.7 Manual. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf, Erişim Tarihi:27/03/2022.





Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği

Fatih Pulat¹, Murat Yakar², Ali Ulvi³

¹Siirt Üniversitesi, Erüh Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, Siirt, Türkiye.

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye.

³Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

3B Model,
Yersel Fotogrametri,
Kültürel Miras.

ÖZ

Geçmişten günümüze bakıldığında pek az kültürel eser kendi özelliklerini koruyarak günümüze gelebilmiştir. Bu eserler gerek doğa olayları sonucu yaşadıkları tahribatlardan, gerek insan eli ile verilen zararlardan dolayı, gerekse de koruma altında olmasına rağmen gerekli onarımları yapısal özelliklerine uygun bir şekilde yapılmadığı için yapısal bozulmalar geçirmekte, dolayısıyla harap olup yıkılmaktadırlar. Yersel fotogrametri yöntemi ile yapıların tüm detayları üç boyutlu olarak ölçülebilmekte ve yapıya ait fotoğraflar ile yapının ölçülebilir bir üç boyutlu modeli elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Van ili, Merkez İpekyolu ilçesinde bulunan ve bir Mimar Sinan eseri olarak günümüze kadar gelebilmiş olan Hüsrev Paşa Camii'nin yersel fotogrametrik yöntem ile detay ölçümleri üç boyutlu olarak yapılmış, yapının resimleri çekilmiştir. Böylece elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilerek yapı üzerinde istenilen her noktaya ait ölçü, yapısal malzeme cinsi, yapının görseli gibi tüm yapı detaylarına sahip üç boyutlu bir modelinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada farklı fotogrametrik yazılımlar kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında her iki yazılımında yeterli düzeyde hassasiyet sağladığı görülmüştür. Çalışmadan elde edilen verilerde hassasiyet bakımından Agisoft metashape yazılımının, elde edilen nokta bulutu sayısı ve projenin tamamlanma süresi olarak da Photomodeler UAS yazılımının daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Comparison Of Photogrammetric Software Using The Terrestrial Photogrammetric Method: The Case Of Husrev Pasa Mosque

Keywords

3D Model,
Terrestrial
Photogrammetry,
Cultural Heritage.

ABSTRACT

Looking from the past to the present, very few cultural artifacts have survived to the present day by preserving their own characteristics. Although these artifacts are under protection, they are subject to structural deterioration due to the damages they have suffered as a result of natural events, the damages caused by people and the lack of necessary repairs in accordance with their structural characteristics, and therefore they are demolished. With the terrestrial photogrammetry method, all the details of the structures can be measured in three dimensions and a measurable three-dimensional model of the structure can be obtained with the photographs of the structure. In this study, the detail measurements of Hüsrev Paşa Mosque, which is located in the central İpekyolu district of Van province and which has survived to the present day as the work of Mimar Sinan, were made with the local photogrammetric method in three dimensions and the pictures of the building were taken. Thus, by evaluating the data obtained in the computer environment, it is aimed to obtain a three-dimensional model with all the building details such as the size of each point on the building, the type of building material, and the visual of the building. In the study, comparisons were made using different photogrammetric software. In the data obtained from the study, it was determined that Agisoft metashape software was more successful in terms of sensitivity and Photomodeler UAS software in terms of the number of point clouds obtained and the completion time of the project.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(fatih.pulat@siirt.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4043-9654
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251
(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Pulat, F., Yakar, M. & Ulvi, A. (2022). Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(1), 30-40

1. GİRİŞ

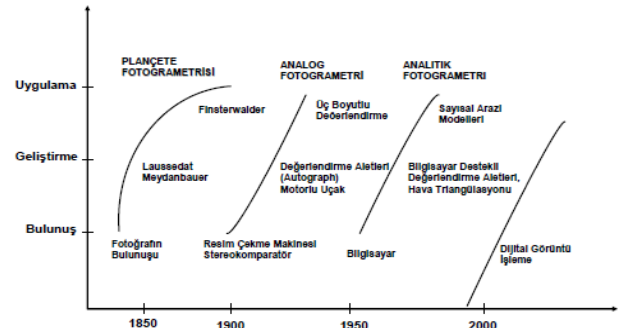
İnsanlık tarihinde geçmişte yaşanmış her olay, olayın yaşandığı her mekan geleceğe ışık tutmuştur. Bu anlamda tarihi yapılar geçmiş ile bugün ve bugün ile gelecek arasında daima bir köprü konumunda olmuşlardır. Yaşayan uygarlıkların tüm yaşamışlıklarına şahit olmuşlardır [1]. Dolayısı ile günümüze kadar ulaşamamış veya yapısal bozulmalar geçirerek ulaşmış eksik yapılar geçmiş öğrenmemizi ve anlamamızı zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte günümüzde sahip olduğumuz yapısal mirasımızı teknolojik donanımımıza rağmen geleceğe aktaramaz isek gelecek nesillerin de bizleri anlamasını, tanınmasını, yaşam tarzlarımızı öğrenmesini ve kendilerinden sonraki nesillere bu tarz kültürel miraslar bırakmasını bekleyemeyiz. Bu anlamda tarihi öneme sahip kültürel mirasların geçmişten günümüze gelebilmesi ne kadar büyük bir öneme sahip ise bu mirasın korunarak geleceğe aktarılması da bir o kadar önemlidir. Geçmişten geleceğe aktarabileceğimiz en önemli şey kültürel mirasımızdır [2]. Bu amaçla yapılacak ilk şey bu mirasın dijital anlamda kayıt altına alınması gerekmektedir [3]. Kayıt altına alınacak bu eserlerin dijital dokümantasyon çalışmaları yapılırken son derece hassas olması bu çalışmanın en önemli tarafıdır [4].

Kültürel ve doğal varlıkların korunmasına yönelik birçok tedbir alınarak yaşatılması ve sonraki nesillere aktarılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda geçmişten beridir yaşanan çağın getirdiği her türlü teknolojik gelişmeler takip edilmiştir. Kültürel ve doğal mirasın korunmasında ve yaşatılmasındaki en temel unsur, varlığın yapısal bütünlüğünün korunabilmesidir. Yapısal bütünlüğünü koruyamamış varlıklara bakıldığında, yaşanan deprem, sel, heyelan gibi doğal afetler, rüzgâr, fırtına, yağmur gibi hava olayları ve bilerek veya bilmeyerek insan eli ile verilen zararlar (kasten verilen zararlar ve tadilat-onarım sırasında bilmeden verilen zararlar) yapının günümüze kadar gelememesinde ve sonraki nesillere aktarılamamasının en büyük nedenleri arasındadır. Bu yıkımın bir başka büyük nedeni de bu yapıların korunması için yeterli tedbirlerin alınmaması ve bu kültürel mirasların yaşatılabilmesi için bilimsel ve teknik yöntemlerden faydalanılamamasıdır.

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında sahip olduğumuz kültürel miraslarımızı hem yapısal olarak korumak hem de yapının sahip olduğu tüm normları ve özellikleri (şekil, boyut, detay, yapı malzemesi vb.) ile dijital olarak kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu durum kültürel mirasa konu eserlerin mimari açıdan restore edilmesinde de büyük öneme sahiptir[5]. Bu anlamda kültürel mirasların korunabilmesi ve varlığını sürdürebilmesi için geliştirilen birçok teknik bulunmaktadır. Bu tekniklerden yaygın olarak kullanılanlardan biri de fotogrametri tekniğidir. Fotogrametri tekniği sayesinde kültürel mirasa konu olan tüm varlıklar sahip oldukları bütün

detay noktaları ile jeodezik olarak ölçülebilmekte ve resim çekim işlemi ile elde edilen görselleri birleştirilerek üç boyutlu modeli elde edilebilmektedir. Fotogrametri, herhangi bir nesnenin veya yapının resimleri ile üç boyutlu modelinin oluşturulması ve konumunun belirlenmesidir [6]. Fotogrametriyi daha da genelleştirerek bir tanım yapmak gerekirse, cisimlerden yansıyan ışınlar yoluyla elde edilen fotoğraflık görüntüler ve bu cisimlerin yaydıkları elektro manyetik enerjinin kayıt altına alındıktan sonra gerçekleştirilen ölçme ve değerlendirme işlem adımları neticesinde elde edilen verilerden yararlanılarak bu nesnelere hakkında bilgi elde etme sanatı ve bilimidir [7].

Çağımızda teknolojinin sürekli gelişimine paralel olarak fotogrametri tekniği de sürekli gelişim göstermiştir. Analog yöntemler, özellikle kameraların geliştirilmesi ve bilgisayarın kullanılması ile birlikte yerini hızla analitik fotogrametriye bırakmıştır. Dijital anlamda kısa bir sürede yaşanan gelişmeler ile fotogrametri tekniği de hızla gelişim göstererek günümüzde lazer tarayıcılara sahip giyilebilir teknolojiler, insansız hava uçakları (İHA), yersel lazer tarama yapan mobil araçlar gibi teknolojik anlamda çok güçlü bir çağ yaşamaktadır [8]. Fotogrametrik yöntem aracılığı ile dijital dokümantasyonu yapılan eserlerin dijital ortamda kullanıcılara sunulması ile kültürel eserlere direkt olarak ve herhangi bir ücret ödemeksizin ulaşma imkanı tanımaktadır [9].



Şekil 1. Fotogrametrinin tarihsel gelişim süreci [10]

Günümüzde kültürel mirasa ait çok farklı tekniklerde dokümantasyon çalışmaları yapılmaktadır. Kültürel mirasın sahip olduğu önem dikkate alındığında yapılan çalışmaların son derece hassas bir şekilde ve çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi açısından çalışmaya en uygun olan yazılımın kullanılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bundan sonra yapılacak kültürel miras dokümantasyon çalışmalarında kullanılacak yazılımların seçimi açısından literatüre katkı sunacaktır. Daha önce bu anlamda literatüre kazandırılmış çalışmalar da bulunmaktadır.

Vlachos ve arkadaşları [5], çalışmalarında Agisoft Photoscan ve 3D Zephyr yazılımlarını fotogrametrik olarak karşılaştırmıştır. Su altı ölçümlerinde kullanılmak üzere 9 adet kontrol noktası tesis

edilerek veri setlerine yönelik olarak yoğun bulut nokta sayısı, pürüzsüzlük, ortalama komşu sayısı ve RMSE verileri karşılaştırılmıştır.

Yakar ve arkadaşları [11], İstanbul ili, Fatih ilçesinde Sultan Ahmet Meydanında bulunan tarihi Dikilitaş'a ait fotogrametrik bir çalışma yaparak esere ait 3B modelin üretildiği yazılımları karşılaştırmışlardır. Bu yazılımlar Faro Scene, JRC 3D Reconstructor ve Autodesk ReCap yazılımlarıdır. Esere ait tarama işlemleri bittikten sonra dijital ortamda modelleme yapılmış, sonuç değerler elde edilmiştir. Her üç yazılım, hata değerleri ve nokta sayıları bakımından değerlendirilmiştir.

Çağlayan [6], Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu'nun modellemesini yaparak fotogrametrik yazılımları karşılaştırmıştır. Çalışma alanına 17 adet yer kontrol noktası tesis edilerek 1499 adet de fotoğraf çekilmiştir. Yazılım değerlendirmelerinde Agisoft yazılımı ile 530.180 adet, Pix4d yazılımı ile 334.736 adet, Context Capture yazılımı ile 344.272 adet nokta üretilmiştir.

Ulvi ve arkadaşları [12], Mersin ili, Erdemli ilçesinde Kanlıdivane olarak billinen yapıya ait 3B modelleme yapmışlardır. Bu çalışmada yersel fotogrametri ve İHA fotogrametrisi ile elde edilen bulgular ile veri füzyonu hesaplanmış, karesel ortalama hataları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Yersel Fotogrametri

Yersel fotogrametri tekniği, kültürel mirasın dokümantasyon çalışmaları, 3B model elde etme, elde edilen bu modelin görsel açıdan zenginleştirilmesi, sonuç ürünlerin yorumlanması ve bu verilerin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile entegre bir şekilde kullanılması sonucu bir çok alanda etkin faaliyet göstermektedir [13].

Fotogrametri, bileşenlerine bakılarak üç ana adım olarak incelenebilir. Bu adımlar, verilerin elde edilmesi, verilerin değerlendirilmesi ve bu verilerden faydalanarak sonuç ürün elde edilmesi şeklinde sıralanır [14]. Bu işlem adımları yersel fotogrametri için de geçerlidir.



Şekil 2. Yersel Fotogrametrinin Bileşenleri

Bu adımlar içerisinde en önemli kısım verilerin elde edilmesi kısmıdır. Bu adımda elde edilen veriler iki türdür. Bu veriler; arazide tesis edilen ve yer kontrol noktaları olarak adlandırılan nirengi, poligon vb. gibi jeodezik noktalara dayalı olarak elde

edilen ölçüm verileri ve resim çekme işlemi ile elde edilen fotografik verilerdir [15].



Şekil 3. Yersel fotogrametride kullanılan sayısal kameralar [16]

Arazide yapılan fotoğraf alımı ve jeodezik ölçümlerden sonra sonuç ürün elde edilmesi amacıyla ofis ortamına geçilerek değerlendirme işlemleri yapılmaya başlanmaktadır. Bu işlemler obje üzerinden elde edilen verilerin hesap ve çizim işlem adımlarını içermektedir. Bu hesap ve çizim işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için, 3D Max, Photomodeler, Pictran, Netcad, Autocad gibi teknik yazılımlardan faydalanılmaktadır [17].

2.1.1. Yersel Fotogrametrinin Faydaları ve Kullanım Alanları

Yersel fotogrametrinin sağladığı faydalar sıralanacak olursa;

- Arazi işlemlerinden sonraki işlemler ofis ortamında yürütülmektedir,
- Objenin bulunduğu yer farketmeksizin her objenin veya nesnenin üç boyutlu modeli oluşturulabilir,
- Gelişen teknolojiye paralel olarak lazer tarama gibi gelişmiş teknolojilerle birlikte kullanılabilirliği yüksektir,
- Elde edilen veriler dijital ortamlarda saklanabilir, yeniden yorumlanabilir ve kullanılabilirler,
- Görüntü elde etme ve değerlendirme teknikleri teknoloji hızına paralel olarak gelişmektedir,
- Tekniğin kullanım kolaylığı ile birlikte düşük maliyetlerle gerçekleştirilen ölçme ve değerlendirme yöntemlerine sahip olması büyük bir avantaj oluşturmaktadır [16].

Tekniğin haritacılık faaliyetleri içerisindeki kullanım alanları;

- Yüzölçümünün az ve yükseklik farkının fazla olmadığı arazilerde daha düşük maliyetle harita yapımında,
- Yol, demiryolu vb. şeritvari inşaat alanlarına sahip alanlarda kazı ve dolgu hesaplarında,
- Yer altı ve yer üstü projelerinde yapılan hacim hesaplarında,

Barajlarda yapılan rezerv haritalarının üretimi gibi birçok alanda yersel fotogrametri yöntemi kullanılmaktadır [10,18].

2.2. Çalışma Alanı

Çalışmanın yapılacağı eser, Urartu medeniyetinden kalma, yapımı M.Ö 840 yıllarına dayanan tarihi Van Kalesi'nin sınırları içerisinde bulunan eski Van şehrinin güneyinde bulunmaktadır. Eser, Van Beylerbeyi Köse Hüsrev Paşa tarafından 1567 yılında döneminin en ünlü mimarlarından olan ve günümüzde de gelmiş geçmiş en iyi mimarlar arasında gösterilen Mimar Sinan'a

yaptırılmıştır. Hüsrev Paşa Camii, kare şeklinde olup kalın duvarlar üzerine büyükçe bir kubbe ile inşa edilmiştir. Eserin duvarları kesme taş ve tromp, kubbesi ise tuğladan yapılmıştır. Eserin kuzeybatı köşesinde bir minaresi, iç kısmında geometrik süslemeleri bulunan bir mihrap ve duvarlarında az miktarda kalem işi hatlar ve çiniler dikkat çekmektedir. Günümüzde hala güzelliğini ve sağlamlığını büyük oranda korumayı başarmıştır.



Şekil 4. Çalışma alanı

2.2. Çalışmada Kullanılan Kamera, Ölçme Cihazları ve Özellikleri

2.2.1. Çalışmada kullanılan kamera ve özellikleri

Çalışmada uygun özelliklere sahip kameranın kullanılması, çekilen fotoğrafların çizim aşamasında kolaylık sağlaması ve çalışmanın hassasiyeti açısından son derece önemlidir. Bu yüzden bu çalışmaya uygun olan Nikon markasının D5100 model kamerası kullanılmıştır.

Özellikleri;

- Sensör tipi: CMOS
- Etkin pixel: 16 MP
- Odak mesafesi: 18-55 mm
- Ekran genişliği: 3.0 inç
- Ağırlık: 560 gr
- Pil kapasitesi: 1030 mAh [19]

2.2.2. Çalışmada kullanılan ölçme aletleri ve özellikleri

Çalışmada bir adet Topcon GR3 GNSS alıcısı GPS, bir adet lazerli ölçüm yapabilen Topcon GPT 3500 total station ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Topcon GR3 GNSS; Dünya üzerinde, dört veya daha fazla uydusu ile her türlü hava koşulunda yer ve

zaman bilgileri sağlayan uzay tabanlı uydu navigasyon sistemidir. Düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan bir uydu ağıdır ve uydularla arasındaki mesafeyi ölçerek Dünya üzerindeki kesin yeri tespit etmeyi mümkün kılar.

Özellikleri;

- RTK doğruluk H: 10mm + 1ppm
- V: 15mm + 1ppm
- Mesaj Statik H işlenen: + 3.0mm + 0.5ppm
- V: + 5.0mm + 0.5ppm [20].

Topcon GPT 3500; Total station, açı, mesafe ve yükseklik ölçmeye yarayan bir alettir. Günümüzde kullanılan total station aletlere elektronik takeometri de denilmektedir. Bu çalışmada kullanılan alet, lazerli ölçüm yapma yeteneğine sahip bir total station aletidir. Böylece reflektör olmadan da yansıtıldığı cisme ait koordinat bilgisi elde edilmektedir.

Özellikleri;

- 2000 M Reflektörsüz Okuma Menzili
- Birinci Sınıf Güvenli Lazer EDM
- Reflektörsüz Ölçüm İçin Lazer Pointer
- Aplikasyon Işığı [21].

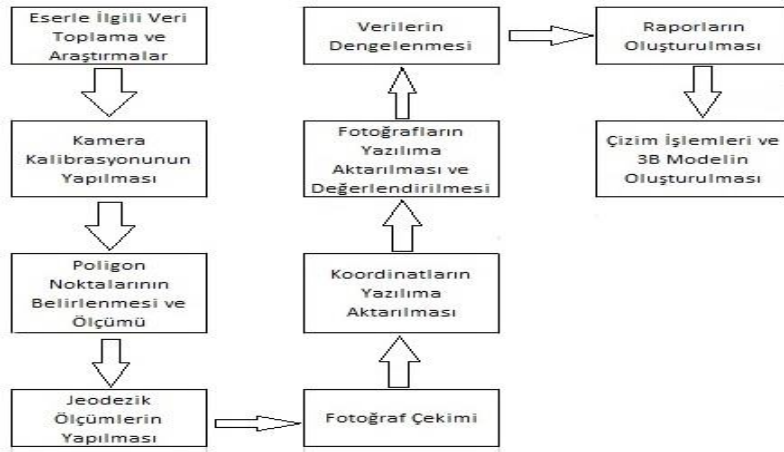
2.3. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan yöntem, yersel fotogrametri yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde çalışmalar yer merkezli olarak yürütülmektedir. Amaç; esere ait 2B fotoğraflar ve eser üzerinde ölçülen noktalardan yararlanarak esere ait 3B ve ölçülebilir bir model üretmektir [22-23].

Çalışmada kapsamında kullanılan kamera ve ölçme aletleri ile arazide esere ait fotoğraf çekimleri ve ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 3 boyutlu nokta verileri Netcad 5.1 yazılımı kullanılarak Photomodeler UAS ve Agisoft

Metashape yazılımlarına altlık veri sağlamak üzere değerlendirilmiştir. Bu veriler, esere ait fotoğrafların yazılımlara yüklenmesi ile birlikte 3B çizim ve nokta üretimi sağlanarak her iki yazılım üzerinden de esere ait 3B model elde edilmesi sağlanmıştır.

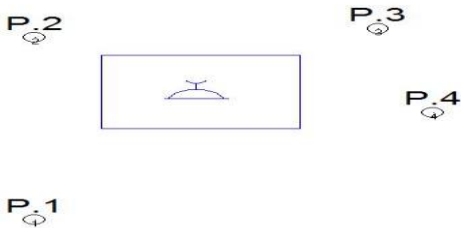
Yersel fotogrametri çalışması, arazide yapılan çalışmalardan başlayıp ofis ortamında sonlanan büro çalışmaları ile birlikte disiplin içerisinde birbirini takip eden aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamaları gösteren iş akış şeması Şekil 5'de belirtilmiştir.



Şekil 5. Çalışmaya ait iş akış şeması

2.3.1. Arazi çalışmaları

Arazide ölçme işlemine başlamadan proje alanı gezilerek tesis edilecek poligonların tesis edileceği noktalar belirlenerek arazi istikşafı yapılmıştır. Yapının etrafında birbirini görecek şekilde 4 adet poligon noktası tesis edilerek total station ölçme aleti ile düşey açı, yatay mesafe ve kenar okumaları yapılmış yerel koordinat sisteminde kapalı bir poligon ağı oluşturulmuştur. Netcad 5.1 yazılımı kullanılarak bu poligon ağında bulunan noktalara ait ölçüler ile kapalı poligon hesabı yapılmış, noktalara ait koordinat ve yükseklikler yerel olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Cors GPS aleti ile de ulusal koordinat sisteminde karşılaştırma amaçlı poligon alımları yapılmıştır.



Şekil 6. Poligon noktalarının konumu

Esere ait fotoğrafların üzerine ölçüm yapılacak kontrol noktaları işaretlenerek her bir yüzey için kroki oluşturulmuştur. Krokiler yüzeylerdeki

detayların çok olduğu kısımlar için detayların daha iyi işaretlenebilmesi bazı yüzeyler için birden fazla kroki düzenlendi. Kroki üzerinde noktaların işaretlenen noktaların oldukça homojen bir dağılım gösterecek şekilde işaretlenmesine dikkat edilmiştir. Elde edilen krokilerin renkli çıktıları alınarak kroki üzerinde belirlenmiş kontrol noktalarına her bir poligondan total station ile okumalar yapılarak koordinatları ölçüm cihazına kaydedilmiştir. Ölçme çalışmaları yaklaşık 5 gün sürmüştür.



Şekil 7. Esere ait detay noktalarının işaretlenmesini gösteren kroki örneği

Eserin fotoğrafları dijital kamera ile çekilmiştir. Fotoğraf çekimi yapılırken yapının her yüzeyinden en az üç adet yüzeye paralel olacak şekilde belirli mesafelerde fotoğraf çekimi yapılmıştır. Fotoğraf çekimi esnasında makinanın yakınlaştırma ayarı sabitlenmiştir. Fotoğrafların açılı ve bindirmenin rahat yapılabilmesi için birbirini kapsayacak şekilde çekilmesine dikkat edilmiştir.

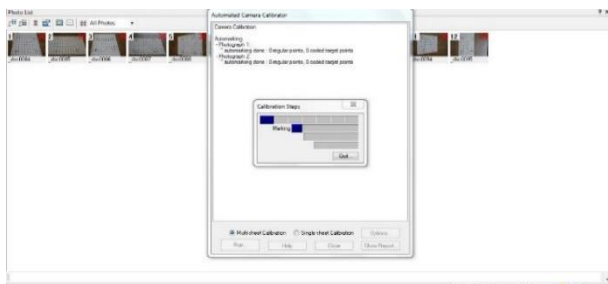


Şekil 8. Eserin Güney Cephesinin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları

2.3.2. Ofis çalışmaları

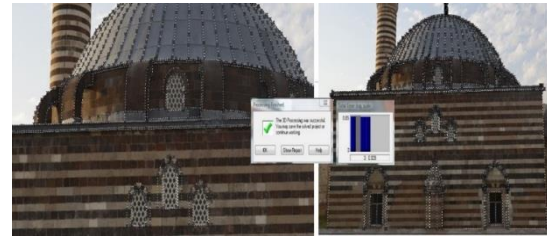
2.3.2.1. Eserin photomodeler uas yazılımı ile fotogrametrik çizim aşaması

Araziden elde edilen ölçüm değerleri bilgisayar ortamına aktararak Netcad 5.1 yazılımında ncn dosya formatında elde edilip daha sonra Photomodeler yazılımında değerlendirilmek üzere .txt formatına dönüştürülmüştür. Fotoğrafların çekildiği fotoğraf makinasının parametrelerini Photomodeler (PM) yazılımında tanıtip çizim işlemine geçilmeden önce kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi için PM yazılımının çıktı kısmından kalibrasyon kağıdının A4 boyutunda çıktısı alınmıştır. Kalibrasyon işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için kalibrasyon kağıdının 8-12 arasında fotoğrafının çekilmesi gerekir. Alınan çıktı düz bir zemine sabit duracak şekilde konarak saat yönünde etrafında dönülmek sureti ile 10 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğraf çekimi esnasında makinanın yatay ve dikey konumda olmasına dikkat edilmiştir. Kalibrasyon işlemi sonucunda maximum residual 0,7065, photo coverage oranı % 81 ile istenilen hassasiyet aralıklarının başarıyla yakalanmasından sonra dengeleme işlemi de aynı şekilde başarılı bir şekilde yapılmış olup çizim işlemine geçilmiştir.



Şekil 9. Photomodeler UAS yazılımında kalibrasyon işlemi

Esere ait veriler, Photomodeler UAS yazılımına aktarıldıktan sonra veriler değerlendirilmeye başlanmıştır. Şekil 7' de eserin Güney Cephesine ait kroki örneğinde olduğu gibi her bir yüzey üzerinde bulunan işaretli noktaların jeodezik koordinatları ile farklı açılardan çekilmiş fotoğraflar üzerindeki işaretli noktalar Photomodeler ortamında eşleştirilmiştir. Eşleştirme işlemleri (reference mode) tamamlandıktan sonra noktaların dengeleme işlem adımı safhasına geçildi.

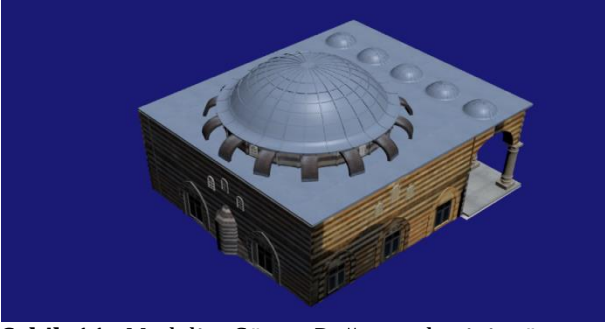


Şekil 10. Yapının Güney cephesine ait dengeleme işlemi sonucu

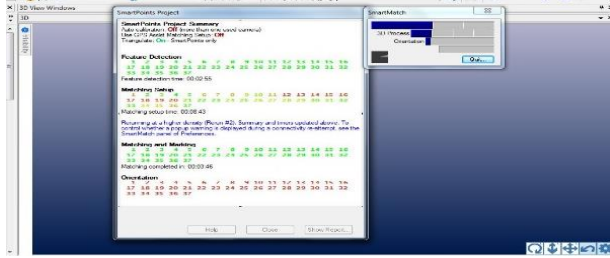
Dengeleme işlemi başarılı bir şekilde yapıldıktan sonra yüzeylere ait 3 boyutlu noktalar oluşturulmuş oldu. Böylece yapıya ait yüzey kaplama işlemleri safhasına geçildi ve yüzey kaplama işlemleri tamamlandı.

Yüzey modelleme işlemleri her bir yüzey için bu işlemler dizisinden geçerek tüm yüzeyler ve kubbe birleştirilerek esere ait 3 boyutlu model ortaya çıkarılmıştır.

Photomodeler UAS yazılımında, elle çizim ile 3D model elde edildikten sonra aynı yazılımda nokta bulutu oluşturularak 3D model elde etme çalışmasına başlanmıştır. Çalışmanın hassasiyeti ile alakalı parametrelerin seçiminden sonra esere ait fotoğraflar yazılıma yüklenerek sırasıyla feature detection (özellik algılama), matching (eşleştirme), matching and marking (eşleştirme ve işaretleme), orientation (oryantasyon) işlemleri yaptırılmıştır.

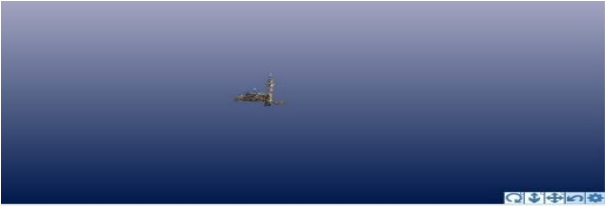


Şekil 11. Modelin Güney-Doğu cephesinin üstten görünümü



Şekil 12. Nokta bulutu oluşturma safhası

Böylece işlem sonucunda esere ait 61337 adet 3D noktadan oluşan nokta bulutu elde edilmiştir. Oluşturulan nokta bulutu 3D görüntüleyici seçenekleri menüsünden yararlanılarak yüzey ve nokta ağı parametreleri belirlenmiştir.

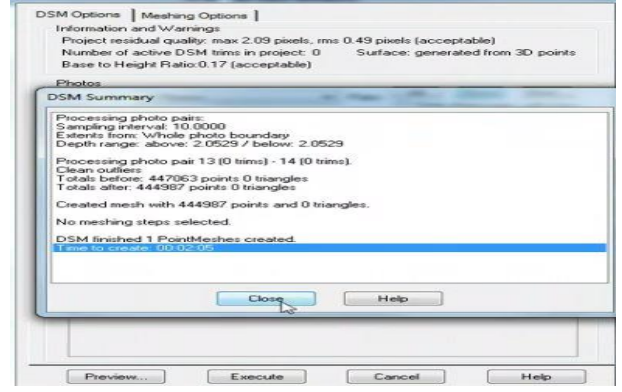


Şekil 13. Seyrek nokta bulutu ile oluşturulan model

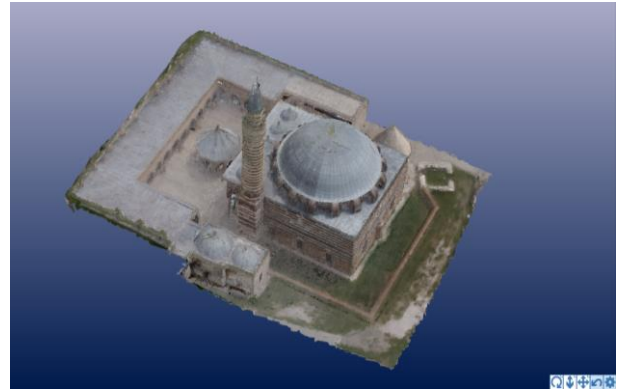
Seyrek nokta bulutu ile elde edilen 3D modele ait nokta bulutunun homojen bir yapıya sahip olmadığı dolayısıyla eserin bazı bölgelerinde daha da seyrek bir nokta bulutunun elde edildiği görülmüştür. Esere ait yoğun nokta bulutu elde etmek için yazılım üzerinden özellikle seyrek nokta bulutunun daha da az olduğu fotoğraflar seçilerek 'Dense Surface' menüsünden 'Create Dense Surface' sekmesinden yararlanılarak yoğun nokta bulutu yüzeyi oluşturulmuştur.

Yoğun nokta bulutunun oluşturulması için eserin seçilen bir yüzeyine ait oluşturulan yoğun nokta bulutu sayısı 447.063, oluşturma süresi de 2 dakika 5 saniye sürmüştür. Böylece her bir yüzeye ait yoğun nokta bulutları elde edilerek eserin 3D modeli elde edilmiştir.

Elde edilen yoğun nokta bulutu verilerinden sonra 3D viewer options (3D görüntüleme seçenekleri) menüsünden yüzey kaplama aktif edilerek esere ait 3D model elde edilmiş olup ekran görüntüsü Şekil 15' te verilmiştir.



Şekil 14. Bir yüzeye ait yoğun nokta bulutu sayısı ve oluşturma süresi



Şekil 15. Modele ait 3D görüntüsü

2.3.2.2. Eserin Agisoft yazılımı ile fotogrametrik çizim aşaması

Esere ait arazide gerçekleştirilen saha işlemlerinden sonra ofis ortamında çalışılmaya başlanmıştır. Agisoft yazılımının son sürümü olan Agisoft Metashape yazılımı ile ilk olarak kamera kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Kamera kalibrasyonunun yapılabilmesi için dama tahtası şeklinde olan kalibrasyon test kağıdının farklı açılardan çekilmiş en az 3 adet fotoğrafının kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma için kamera kalibrasyon kağıdının farklı açılardan çekilmiş 12 adet fotoğrafı kullanılmıştır.

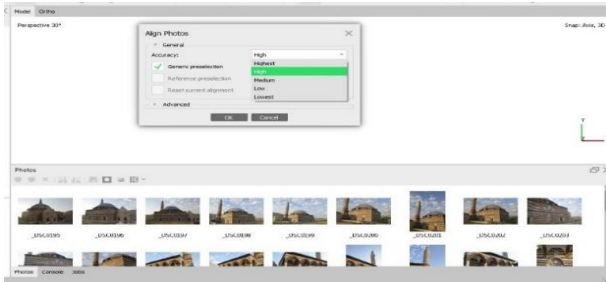
Ayarlar (Tools) menüsünden kamera kalibrasyon (Camera Calibration) modülüne tıklanarak elde edilen kamera kalibrasyon sonuçları istenilen dosya formatında saklanabilmektedir. Kalibrasyon dosyasında radyal ve teğetsel distorsiyon parametre ve eğrileri, resim ana noktası koordinatları, resim boyutları gibi veriler bulunmaktadır.



Şekil 16. Kalibrasyon parametreleri

Kamera kalibrasyon işlemlerinden sonra esere ait fotoğraflar Agisoft Metashape yazılımına aktarılarak değerlendirme aşaması başlatılmıştır. Bu değerlendirme aşaması yazılım üzerinde Workflow menüsünden Add Photos komutu ile gerçekleştirilmektedir.

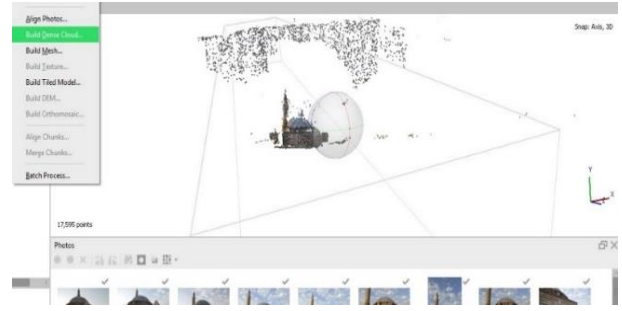
Fotoğrafların yazılıma aktarılması ile Workflow menüsü üzerinden Align sekmesi tıklanarak fotoğrafların hizalama işlemi yapılır. Burada yapılacak çalışmanın niteliğine ve istenen hassasiyete göre uygun parametreler seçilerek oluşturulacak nokta bulutunun sıklığı ve fotoğrafların hangi özellikleri üzerinden çalışma yapılacağı belirlenir.



Şekil 17. Agisoft resim hizalama ve dengeleme ayarları

Hizalama (Align Photos) işleminden sonra eser üzerinde işaretlenen ve ölçümü yapılan kontrol noktaları yazılıma yüklendikten sonra son derece hassas bir şekilde eser üzerinde işaretli noktalar ile eşleştirmeler yapılmıştır. Nokta eşleştirme işleminden sonra eser üzerinde bulunan noktaların sıklaştırma işlemi için Workflow menüsünden Build Dense Cloud sekmesine tıklanarak esere ait noktalar sıklaştırılarak bir nokta bulutu elde edilmiştir.

Bu işlem ile yoğun nokta bulutu elde edildiğinden dolayı işlemin gerçekleşmesi yazılımı çalıştıran bilgisayarın da performansına bağlı olarak uzun sürebilmektedir. Eserin yapı olarak büyük olması fotoğrafların belli bir uzaklıktan çekilmesini gerektirmektedir. Bu yüzden eser üzerinde bazı detaylar netleşmediğinden dolayı çalışmada belli bağlama noktaları oluşturularak kayıp bölgeler tamamlanır. Fotoğraf çekiminde eser ile çekim noktası arasındaki mesafeden dolayı eserin etrafında bulunan objelere ait nokta bulutları da üretilir. Bu durumda istenmeyen nokta bulutları traşlama yapılarak silinebilmektedir. Esere ait nokta bulutunun istenmeyen objelerden temizlenmesi ile Workflow menüsünden Build Mesh sekmesine tıklanarak nokta bulutu üzerinde üçgen model oluşturma işlemi başlatılmıştır. Böylece esere ait katı bir model elde edilmesi için bir sonraki aşamaya geçilmiştir.



Şekil 18. Nokta bulutu

Bu işlem ile yoğun nokta bulutu elde edildiğinden dolayı işlemin gerçekleşmesi yazılımı çalıştıran bilgisayarın da performansına bağlı olarak uzun sürebilmektedir. Eserin yapı olarak büyük olması fotoğrafların belli bir uzaklıktan çekilmesini gerektirmektedir. Bu yüzden eser üzerinde bazı detaylar netleşmediğinden dolayı çalışmada belli bağlama noktaları oluşturularak kayıp bölgeler tamamlanır. Fotoğraf çekiminde eser ile çekim noktası arasındaki mesafeden dolayı eserin etrafında bulunan objelere ait nokta bulutları da üretilir. Bu durumda istenmeyen nokta bulutları traşlama yapılarak silinebilmektedir. Esere ait nokta bulutunun istenmeyen objelerden temizlenmesi ile Workflow menüsünden Build Mesh sekmesine tıklanarak nokta bulutu üzerinde üçgen model oluşturma işlemi başlatılmıştır. Böylece esere ait katı bir model elde edilmesi için bir sonraki aşamaya geçilmiştir.

Esere ait elde edilen katı model resim giydirme işlemi ile gerçek dokusuna sahip olabilecektir. Bu yüzden yazılım üzerinden Model Shaded ardından da model textured tıklanarak doku kaplama işlemleri başlatılmıştır. Sonuç olarak esere ait 3 boyutlu bir model elde edilir. Modele ait dosya File menüsünden Export Model işlemi ile 3B dosyası elde edilerek farklı yazılımlar ile 3 boyutlu olarak incelenebilir.



Şekil 19. Esere ait 3 boyutlu görünüm

3. BULGULAR

Yersel fotogrametri tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmada, lazerli reflektörsüz ölçüm yapabilen total station, GPS alıcısı, fotoğraf makinası, Netcad 5.1, Photomodeler UAS ve Agisoft Metashape yazılımları kullanılmıştır. Yapıya ait fotoğraf çekimi işleminden önce Photomodeler UAS yazılımında fotoğraf makinasının kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi sonucunda maximum residual 0,7065, photo coverage oranı % 81, kalibrasyon ortalama hata değeri de 0,1899 olarak çıkmıştır.

Benzer şekilde bir diğer kalibrasyon işlemi de Agisoft Metashape yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yazılımlar ile elde edilen sonuç ürünler karşılaştırma açısından hem teknik hem de görsel anlamda fikir verirken aynı zamanda da fotogrametrik çizim aşamalarında da hangi yazılımın daha pratik ve kullanışlı olduğu hakkında net fikirler vermektedir. Jeodezik ölçümleri yapılmış olan kontrol noktalarının eşleştirme işlemlerinden sonra hangi yazılımın daha hassas verilere sahip olduğunu tespit edebilmek amacıyla her iki yazılım üzerinden elde edilen koordinat verileri gerçek koordinatlar ile karşılaştırılarak her iki yazılımdan elde edilen

verilere ait karesel ortalama hata ve konum hatası hesaplanmıştır. Arazi koordinatları ve yazılımlardan üretilen koordinatların farklarından elde edilen verilerden (Tablo 1) yararlanılarak her iki yazılıma ait konum verilerinin x, y ve z yönündeki V_{max} , V_{min} ve V_{ort} değerleri tespit edilmiş olup (1) ve (2) eşitlikleri ile karesel ortalama hata ve konum hatası hesaplanmıştır.

$$m = \pm \sqrt{[vv] / (n-1)} \quad (1)$$

$$m_{(xyz)} = \pm \sqrt{(m_x^2 + m_y^2 + m_z^2)} \quad (2)$$

Tablo 1. Yazılımlardan elde edilen koordinat farkları

	PM UAS			Agisoft Metashape			
	Vi Farklar (cm)			Vi Farklar (cm)			
	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)	Vx(±)	Vy(±)	Vz(±)	
Vmin	0,1	0	0,3	Vmin	0,1	0,4	0,5
Vmax	7,1	4,1	2,8	Vmax	4,9	3,4	3
Vort	1,9	1,7	1,5	Vort	1,7	1,6	1,6
	VxVx	VyVy	VzVz	VxVx	VyVy	VzVz	
	181,42	146,69	115,33	158,77	137,66	130,89	
m	2,2	1,8	1,2	m	1,7	1,9	1,1
m(xyz) (±)	3,8			m(xyz) (±)	2,78		

Tablo 2. Yazılımlardan elde edilen 3D modele ait veriler

	PM UAS		Agisoft Metashape	
	Seyrek Nokta	Yoğun Nokta	Seyrek Nokta	Yoğun Nokta
Sayı	61.337	6.675.987	69.624	4.907.147
Toplam Nokta Sayısı	6.737.324		4.976.771	
Eşleştirme Süresi	00:20:02	02:35:27	00:05:20	03:14:00
Toplam Süre	02:55:29		03:19:20	
Kullanılan Bilgisayar Özellikleri	Intel Core 2 Duo İşlemci 2.0 Ghz işlemci hızı 2.0 RAM Windows 7 64 Bit İşletim Sistemi 237 Gb Hasrddisk Kapasitesi			

Dengeleme, seyrek nokta ve yoğun nokta bulutunun oluşturulması, çizimin yapıldığı teknik donanım olan bilgisayarın da performansına bağlı olarak zaman alabilmektedir. Fakat Agisoft Metashape yazılımında geçen toplam çalışma süresinin Photomodeler UAS yazılımına göre çok fazla olması bilgisayardan kaynaklanan donanımsal bir fark değildir. Bu anlamda çalışmanın bitirilmesi için geçen süre olarak Photomodeler UAS yazılımının büyük bir fark yarattığı görülmüştür.

Tablo 2'de görüldüğü üzere Agisoft Metashape yazılımında üretilen toplam nokta sayısı 4.976.771 iken Photomodeler UAS yazılımında üretilen toplam nokta sayısı 6.737.324 olmuştur. Böylece Photomodeler UAS yazılımında üretilen nokta sayısının Agisoft Metashape yazılımının nokta

sayısının yaklaşık %30'u kadar fazladan nokta oluşturduğu görülmüştür. Bu da özellikle detay özellikleri yoğun olan eserlerin modellemesinde Photomodeler UAS yazılımı ile daha fazla detay noktasının elde edilebileceğini ve esere ait özelliklerin daha iyi modellenebileceğini göstermektedir.

Photomodeler UAS yazılımının Agisoft Metashape yazılımına göre diğer bir üstün tarafı, bu yazılımın elle çizim şeklinde 3D modelleme yapmasına imkan vermesidir. Photomodeler UAS yazılımında çizimlerin elle manuel olarak da yapılabilmesi bu yazılımın ekstra olarak sağladığı avantajlardan biridir. Ayrıca elle çizim suretiyle elde edilen yapı modeline ait hatların, nokta bulutu yoluyla elde edilen modelin hatlarına göre daha

düzgün ve keskin olduğu görülmüştür. Bu durum bu çalışmaya konu olan eserin nispeten düz bir mimariye sahip olmasından dolayı yazılım, çizim aşamasında avantaj sağlamış olsa da çizim için harcanan süre ve emek, eserin ölçümü yapılamayan ve fotoğrafları çekilemeyen kısımlarının (minare) elle çizilememesi göz önünde bulundurulduğunda bu esere ait modelleme çalışmasının nokta bulutu oluşturmak suretiyle yapılması daha büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

Çalışma alanında uygulanan yersel fotogrametri tekniği, ölçme işlemlerinin özellikle de lazerli ölçme aleti ile birlikte yapılması çalışmanın klasik yöntemlere göre çok daha hızlı gerçekleşmesi, daha kısa zaman gerektirmesi, daha az sayıda personel ve daha az maliyetli donanım ile gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır. Her iki yazılım ile elde edilen ölçme sonuçlarının hassasiyet kalitesinin yüksek olduğu fakat birbirine kıyasla Agisoft Metashape yazılımının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Tablo 1).

Çalışmada, eserin yersel fotogrametrik yöntemle dijital dokümantasyonun sağladığı avantajların yanı sıra çalışmanın tek lazer ışını ile ölçme yapan total station aleti ile yapılmış olması eserin çoğunlukla düz yüzeylere sahip olmasından dolayı kolaylık sağlamış olsa da eser üzerinde bulunan süsleme, kabartma, rölyef gibi karmaşık yüzeylerin tek lazer ışını gönderen ölçme aleti ile ölçülmesi son derece zor olduğundan bu kısımlara ait ölçümler yeterince sık gerçekleştirilememiştir. Fotoğraf çekim işlemleri için günün uygun saatleri seçilmesine rağmen fotoğraflarda yansıma ve kısmen de gölgelenmelerin önüne geçilememiştir. Bütün bunlar çalışmada uygulanan ölçme yönteminde karşılaşılan dezavantajlar olarak öne çıkmıştır. Bu yüzden bu tarz yüzeylerin fazla olduğu eserlerin ölçme işlemlerinin lazer tarama yapan cihazlar ile yapılması çok daha fazla detay noktasının ölçülmesine imkan sağlayacaktır. Bu anlamda Photomodeler UAS yazılımında elle çizim yapılarak elde edilen modelin, esere ait nokta bulutu ile elde edilen diğer 3D modellere göre daha az detay noktasına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırılmış total station ölçme aleti ile yapılan ölçme işleminin hata miktarının 5mm'nin altına olduğu böylece GPS ölçme aletine göre daha hassas sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yapının karmaşık yüzeyleri olmayıp genel manada düz bir yüzeyi bulunmaktadır. Bu da çizim işlemlerinde hata miktarının düşük tutulabilmesinde önemli bir etken olmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde tarihi yapıların hem geçmişe ışık tutması hem de geçmiş ile gelecek arasında bir köprü konumunda olması nedeniyle tarihi yapı ve eserlerin korunması ve restorasyon çalışmaları kadar bu eserlerin korunma ve restorasyon yöntemleri de bir o kadar büyük öneme sahiptir. Şimdiye kadar

mimarlar tarafından röleve çalışmaları ile klasik yöntemlerle yürütülen çalışmalara harita mühendisliği disiplininin yürüttüğü fotogrametrik çalışmalar, daha düşük maliyetli, daha az zaman ve yüksek hassasiyete sahip bir yöntem olarak bu alanda yenilikçi bir katılım sağlamaktadır. Fotogrametrik yöntemin en önemli avantajlarından biri de tarihi yapı ve eserlerin üç boyutlu sayısal ve dijital olarak kayıt altına alınmasına olanak sağlamasıdır. Yöntem, hassas ölçümlere dayalı olarak yürütüldüğünden eserler üzerinden son derece hassas ölçümler yapılabilen dolayısıyla herhangi bir restorasyon çalışması veya onarım gerektiren durumda eserin orijinal ölçüleri göz önünde bulundurularak özgünlüğünü koruması sağlanmış olur.

Söz konusu çalışma alanında daha önceden herhangi bir fotogrametrik veya başka bir üç boyutlu modelleme çalışması bulunmadığından eserin fotogrametrik yöntemle üç boyutlu olarak modellenmesi hem esere hem de bölgeye özgün bir değer katacaktır. Bunun yanı sıra hali hazırda bölgede tarihi öneme sahip bir çok kültür mirası bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma ile birlikte fotogrametrik yöntemle üç boyutlu olarak kayıt altına alınan eser, diğer kültür varlıklarının da üç boyutlu metrik bir sistemle kayıt altına alınmasının önünü açacak, bölgede kültürel bir aydınlanma ve kültürel miraslara sahip çıkma bilinci oluşturacaktır. Aynı zamanda bölgede yürütülen arkeolojik çalışmalara da farklı bir boyut ve bakış açısı kazandıracaktır. Bu anlamda çalışmanın özgün değeri ortada olup dijital anlamda kültürel miras dokümantasyonuna güzel bir örnek olarak yerini alacaktır.

Yazarların Katkısı

Fatih Pulat: Saha ve ofis işleri

Murat Yakar: Literatür taraması, makale yazımı

Ali Ulvi: Literatür taraması, makale yazımı

Bilgilendirme

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında desteklenmiştir. Proje no: 2021-2-TP2-4530.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Uysal, M., Polat, N., Toprak, A.,S., Yakar, M. (2013) " 3d Modeling Of Historical Doger Caravansaries By Digital Photogrammetry" Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2.
- [2] Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3

- Boyutlu Modellenmesi, Geomatik Dergisi, 1(1), 14-18.
- [3] Kaya, Y., Yiğit, A.,Y., Ulvi, A., Yakar, M. (2021) "Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği" Harita Dergisi 87 (165), 57-72.
- [4] Yakar, M., Yılmaz, H., M., Güleç, S., A., Korumaz, M. (2009) "Advantage Of Digital Close Range Photogrammetry İn Drawing Of Muqarnas İn Architecture" Information Technology Journal 8 (2): 202-207.
- [5] Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station-based methods. Lasers in Eng, 19, 331-345.
- [6] Kraus, K. (1993). Photogrammetry, Fundamentals and Standard Processes. Volume 1; Bonn; p 23.
- [7] Vlachos, M., Berger, L., Mathelier, R., Agrafiotis, F., Skarlatos, D. (2019). Software Comparison For Underwater Archaeological Photogrammetric Applications. 27th CIPA International Symposium "Documenting the past for a better future", Ávila, Spain.
- [8] Çağlayan, U. (2020). İha Verileri Temelinde Agisoft, Context Capture Ve Pixa4d Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının 3b Konum Doğruluğu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.
- [9] Ulvi, A., Yiğit, A.,Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi- 1(1); 01-06.*
- [10] Yastıklı, N. (2009). Fotogrametrinin Temelleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 22s.
- [11] Yakar, İ., Hamal, S. N. G., Çelik, M. Ö., Bilgi, S., Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. Geomatik Dergisi 2021; 6(3); 217-226.
- [12] 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.
- [13] Varol, F., Ulvi, A. & Yakar, M. (2018). Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Yersel Fotogrametri Tekniğinin Kullanılması: Sazak Köprüsü Örneği, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11(57), 986-991.
- [14] Hanke, K., Grussenmeyer, P. (2002). Architectural Photogrammetry : Basic theory, Procedures, Tools, ISPRS Comission 5 Tutorial, Corfu, September.
- [15] Karşlı, F. (2016). Fotogrametri I Ders Notları (Yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, p 6.
- [16] Duran, Z., Toz, G. (2003). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelemesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması. İTÜ Dergisi, 2, (6), 19-30.
- [17] Kıvanç, H. (2019). Kültürel Miras Belgeleme Çalışmalarında Fotogrametrik Yöntem İle Yersel Lazer Tarama Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 21s.
- [18] Yakar, M., Karabörk, H., Yılmaz, H.,M. (2000). Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4, (1), 18-28.
- [19] URL 1: *Nikon Kamera Özellikleri*, https://www.nikon.com.tr/tr_TR/product/disc-ontinued/digital-cameras/2015/d5100#tech_specs. Erişim Tarihi:26.02.2021.
- [20] URL 2: *Topcon GPS*, http://adastekmuhendislik.com.tr/urun/2-el-topcon-gr-3-gps_17.html. Erişim Tarihi: 28.02.2021.
- [21] URL 3: *Topcon Total Station*, <https://paksoytekni.com.tr/index.php/paksoy-topcon/total-station/gpt-3500>
- [22] Alyılmaz, C., Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2010). Drawing of petroglyphs in Mongolia by close range photogrammetry. *Scientific Research and Essays*, 5(11), 1216-1222.
- [23] Alyılmaz, C., Alyılmaz, S. & Yakar, M. (2010). Measurement of petroglyphs (rock of arts) of Qobustan with close range photogrammetry. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(Part 5), 29-32.
- [24] Yakar, M., Yıldız, F., Alyılmaz, C. & Yılmaz, H. M. (2009). Photogrammetric study for Sircali Medrese Door. In 9-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2009, 879-884.
- [25] Ulvi, A., Yakar, M., Alyılmaz, C., & Alyılmaz, S. (2017). Using the close range photogrammetry technique in 3-dimensional work: History of obrukhan sample. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 17, 347-355.

