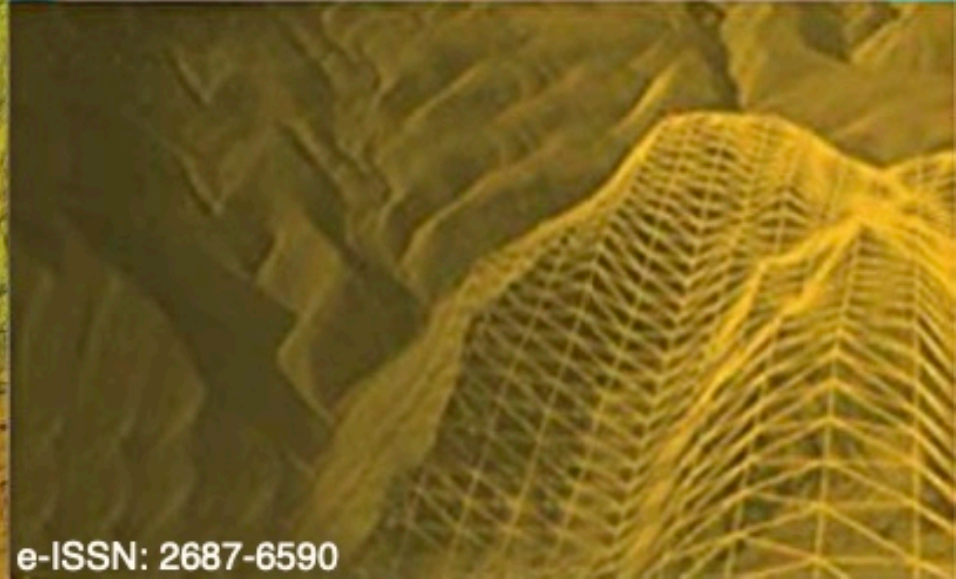


Türkiye FOTOGRAMETRİ Dergisi

Cilt/Volume: 6
Sayı/Issue: 1
Haziran/June
2024



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. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

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

Arş. Gör. Dr. Yunus KAYA
Harran Üniversitesi,
Şanlıurfa

EDİTÖR YARDIMCILARI

Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR KURULU

- **Prof. Dr. Bülent BAYRAM**, Yıldız Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Erkan BEŞDOK**, Erciyes Üniversitesi
- **Prof. Dr. Gönül TOZ**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Sultan KOCAMAN**, Hacettepe Üniversitesi
- **Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU**, İstanbul Üniversitesi
- **Prof. Dr. Fevzi KARSLI**, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Prof. Dr. Semra ALYILMAZ**, Atatürk Üniversitesi
- **Prof. Dr. İbrahim YILMAZ**, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- **Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU**, Konya Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Ozan ARSLAN**, Kocaeli Üniversitesi
- **Doç. Dr. Tekin SUSAM**, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- **Doç. Dr. Zaide DURAN**, İstanbul Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Bahadır ERGÜN**, Gebze Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN**, Hacettepe Üniversitesi
- **Doç. Dr. Arzu ERENER**, Kocaeli Üniversitesi
- **Doç. Dr. Güler YALÇIN**, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- **Doç. Dr. Murat UYSAL**, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- **Doç. Dr. Eminnur Topsakal AYHAN**, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- **Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ**, Bülent Ecevit Üniversitesi
- **Doç. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK**, Aksaray Üniversitesi
- **Doç. Dr. 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 6 / SAYI 1

Araştırma Makaleleri; Research Articles*;

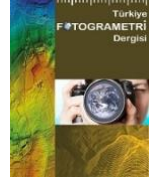
Sayfa/Page No	Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name
01-07*	<i>İnsan Yüzünün 3 Boyutlu Modellenmesinde Akıllı Telefonların Kullanılması</i> <i>The Use of Smartphones in 3D Modeling of Human Face</i> Doğa Fidan & Ali Ulvi
08-13*	<i>Maden Sahalarındaki Stok Miktarının İHA Yardımıyla Belirlenmesi</i> <i>Determination of Stock Amount in Mining Areas with the Help of UAV</i> Atilla Atıcı, Mehmet Furkan Paksoy & Adem Kabadayı
14-22*	<i>Türk Motiflerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Dijitalleştirilmesi ve Arşivlenmesi</i> <i>Digitization and Archiving of Turkish Motifs with Photogrammetric Methods</i> Eda Menekşe & Ali Ulvi
23-30*	<i>Yakın Resim Fotogrametri Yönteminin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımın Araştırılması</i> <i>Investigation of the Use of Close-range Photogrammetry Method in Reverse Engineering Applications</i> Yaren Doğu & Büşra Nur Bakla



Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



İnsan Yüzünün 3 Boyutlu Modellenmesinde Akıllı Telefonların Kullanılması

Doğa Fidan ^{1*}, Ali Ulvi ¹

^{1*} Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye;
(dogafidan.61@gmail.com, aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
dogafidan.61@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Fidan, D., Ulvi, A. (2024). İnsan Yüzünün 3 Boyutlu Modellenmesinde Akıllı Telefonların Kullanılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 01-07.

Geliş : 04.04.2024
Revize : 25.05.2024
Kabul : 22.05.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Metrik fotoğraf makinelerinin ve fotogrametrik kamera lenslerinin satın alma maliyetleri oldukça yüksektir. Bunun aksine akıllı telefonlar, kullanıcılar tarafından kolay ulaşılabilir ve uygun maliyetli bir veri toplama imkânı sağlamaktadır. Bu doğrultuda akıllı telefonlar, fotogrametriyle bütünleştirildiğinde 3B modelleme süreçlerine esneklik sağlamak, düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. SfM (Structure from Motion), fotogrametrik görüntü eşleştirme yöntemi olarak bilinmekte, nesnelerin yapısal özelliklerini analiz etmek ve 3B modeller oluşturmak için kullanılmaktadır. Çalışmada tüketici sınıfı bir dijital kamera kullanılarak elde edilen fotoğraf kümelerinden minimum iş yüküyle gerçekçi ve dijital 3B yüz modelinin üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, iPhone 14 Pro Max akıllı telefon kullanılarak insan yüzüne ait veriler toplanmıştır. Veriler bir iş bilgisayarında 3Dsurvey yazılımında modellenmiştir. Uygulama sonunda insan yüzünün gerçekçi 3B modeli elde edilmiştir. Elde edilen 3B modelin gerçekçiliğinin, fotoğraf çekim ortamının ışık koşullarına, çekim açısına ve bindirme miktarına, hedef nesnenin hareketliliğine, arka plan ve çevresel faktörlere bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu modelleme, akıllı telefonlar, SfM, 3 boyutlu ölçüm.

The Use of Smartphones in 3D Modeling of Human Face

*Corresponding Author:
yarendgd1@gmail.com

Research Article

Citation: Fidan, D., Ulvi, A. (2024). The Use of Smartphones in 3D Modeling of Human Face. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(1), 01-07 (in Turkish).

Received : 04.04.2024
Revised : 25.05.2024
Accepted : 22.05.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

The purchase costs of metric cameras and photogrammetric camera lenses are quite high. In contrast, smartphones provide an easily accessible and cost-effective data collection opportunity for users. In this regard, smartphones, when integrated with photogrammetry, provide flexibility to 3D modeling processes and offer a low-cost solution. SfM (Structure from Motion) is known as a photogrammetric image matching method and is used to analyze the structural properties of objects and create 3D models. The aim of the study is to produce a realistic and digital 3D face model with minimum workload from photo sets obtained using a consumer-grade digital camera. In this study, human face data was collected using an iPhone 14 Pro Max smartphone. The data were modeled in 3Dsurvey software on a work computer. At the end of the application, a realistic 3D model of the human face was obtained. It was found that the realism of the 3D model depends on the lighting conditions of the photo shooting environment, the shooting angle and the amount of overlay, the immobility of the target object, background and environmental factors.

Keywords: 3-dimensional modeling, smartphones, SfM, 3-dimensional survey,

1. Giriş

İnsan vücudunun 3B (üç boyutlu) modellenmesi, modern teknolojinin gelişimiyle birlikte birçok sektörde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir [25]. Yüz modelleri, film endüstrisinden oyun geliştirmeye kozmetikten, güvenliğe, sanattan tıbbi uygulamalara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır [14, 18].

İnsan yüzünün 3B modellenmesi, yüzün detay özelliklerinin yanı sıra veri toplama sırasında meydana gelen yer değiştirmeler nedeniyle karmaşık bir hal almaktadır [2]. Günümüzde fotogrametri, yüzey verisi toplama için uygun maliyetli, etkili, kolayca elde edilebilen ve çok yönlü bir tekniktir [23]. Bu teknik genellikle lazer tarama gibi daha pahalı ve daha zahmetli diğer araçlara kıyasla çeşitli çalışma şartlarında eşdeğer düzeyde ayrıntıyı sağlamaktadır [5, 6, 7]. Fotogrametri tekniği, fotoğrafların içerdikleri perspektif ve geometrik bilgileri kullanarak, 3B uzayda nesnelerin konumlarını ve şekillerini belirlenmesi esasına dayanmaktadır [3, 15, 16]. Hedef objenin insan olduğu uygulamalarda fotogrametri gibi teknolojilerin kullanımı, nesnenin detaylı ve kolay bir şekilde modellenmesine olanak tanımaktadır [1].

Fotogrametri yöntemi akıllı telefon kameraları gibi donanımlarla da uygulanabilmektedir. Akıllı telefonlar hızlı ve düşük bütçeli çözümler sunmalarıyla bu alanda dikkat çekmektedir [17]. Gelişen teknolojiyle beraber akıllı telefonlarda görüntüleme teknikleri birçok alanda kullanılmakta ve telefon kameralarının çözünürlüğü her geçen yıl artmaktadır [1, 4, 13]. Akıllı telefonlar yüksek çözünürlüklü kameraları sayesinde, kullanıcıların kolaylıkla bindirmeli ve çoklu görüntüler elde etmesini ve bu görüntülerden 3B modeller oluşturmasını sağlamaktadır [9]. Ayrıca, mobil uygulamalar ve yazılımlar sayesinde, kullanıcılar 3B modelleme süreçlerini doğrudan akıllı telefonları üzerinden de gerçekleştirebilmektedir [11, 19, 24].

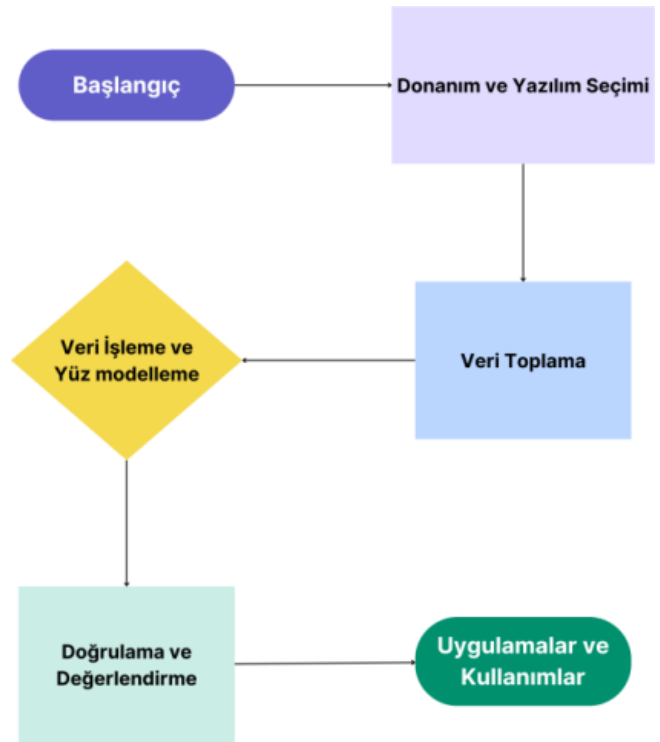
Fotogrametride "SfM", "Structure from Motion" (Hareketten Yapı) yöntemi, 2 boyutlu (2B) stereo görüntü tekniğini kullanarak algılayıcı sensörün hareketiyle oluşan farklı görüntülerdeki ortak ve örtüşen noktalarının tespitinin yapılması yoluyla nesnelerin 3B modellerin elde edilmesini sağlayan fotogrametrik bir görüntü eşleştirme algoritmasıdır [20]. Bu süreçte, SfM eşlenik nokta algılama ve görüntüler arasında eşleştirme tekniklerini kullanarak fotoğraf çekimi esnasında kamera konumunu ve yönünü hesaplamakta ardından stereo eşleştirme sonucu elde edilen derinlik haritalarını kullanarak yoğun nokta bulutu oluşturmaktadır [8].

Bu çalışmada, fotogrametri ve akıllı telefon tabanlı yaklaşımların birlikte kullanımının 3B yüz modelleme sürecindeki rolleri vurgulanmaktadır. Çalışmada

fotoğraflar iPhone 14 Pro Max akıllı telefon kullanılarak toplanmıştır. Elde edilen fotoğraflar 3Dsurvey modelleme ve görselleştirme yazılımında işlenmiş ve 3B yüz modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, mobil cihazların kullanımının taşınabilirlik, düşük maliyet ve yaygınlık gibi avantajlarını öne çıkararak insan vücudunun 3B modellenmesi uygulamalarında gelecekteki araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada akıllı telefon donanımının seçimi yapılmış, ardından fotoğraflar çekilmiştir. Son aşamada ise dijital görüntülerin değerlendirilmesi ve 3B modellenmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Fotoğraflar iPhone 14 Pro Max akıllı telefon kullanılarak elde edilmiştir. 3B modelleme yazılımı olarak 3Dsurvey yazılımı kullanılmıştır. 3Dsurvey yazılımı çeşitli görüntü işleme ve modelleme algoritmalarını içermekte ve nokta bulutları oluşturmak, yüzey modelleme yapmak ve 3B modelleri analiz etmek için sıklıkla kullanılan bir yazılımdır.

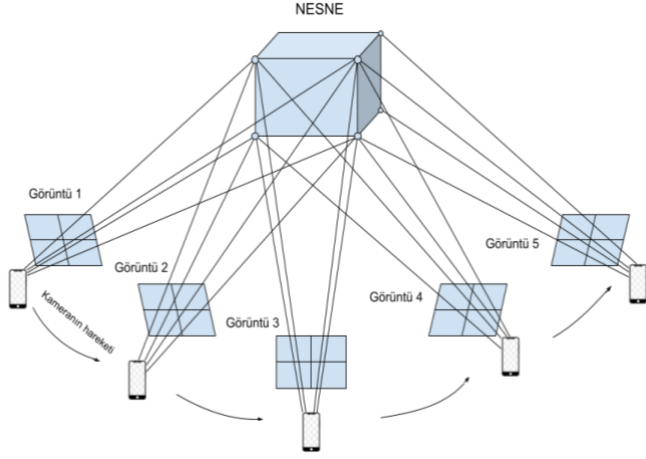


Şekil 1. İş akışı

2.1. Structure from Motion (SfM)

SfM, gerçek dünyaya ait yüzeyleri ya da nesneleri 3B yapılandırmaya olanak sağlayan bir görüntü işleme tekniğidir [8, 20]. SfM, genel olarak fotogrametrik bir görüntü eşleştirme yöntemi olarak bilinmekte, nesnelerin yapısal özelliklerini analiz etmek ve 3B modeller oluşturmak için kullanılmaktadır [12]. Bu

yöntemde, algılayıcı sensörün hedef nesnenin etrafında hareketiyle farklı kamera açılarından fotoğraflar çekilmektedir. Daha sonra fotoğraflardaki nesnenin ortak ayrıntı noktaları tespit edilmekte ve nesnelerin 3B modellerinin elde edilmesi sağlanmaktadır [10]. SfM yöntemi Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. SfM yöntemi

Geleneksel fotogrametrik yöntemlerde algılayıcı merceğin konumunun bilinmesini gerekmektedir. Buna karşılık SfM yöntemi, birden fazla örtüşen görüntüdeki eşleşen özelliklere bağlı olarak fotoğrafın koordinatları, kameranın konumu ve nesnenin geometrisini aynı anda ve otomatik olarak çözmektedir [22]. SfM yönteminde 3B bilgiler, kamera konumu, kamera kalibrasyonu veya nesnedeki incelenen ayrıntı referans noktaları gibi bilgilere gerek kalmadan elde edilmektedir [8, 10]. Bu sayede SfM yöntemiyle, yüksek derecede uzmanlık gerektiren teknik uygulamalar kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntem havadan ve karadan fotogrametri uygulamaları için ucuz ve pratik bir çözüm sunmaktadır [21].

Bu çalışmada fotoğrafların çekilmesinde iPhone 14 Pro Max’in gelişmiş kamera özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan akıllı telefon Şekil 3’te verilmiştir. Kullanılan akıllı telefonun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

2.2. Uygulama

Uygulama esnasında 3B modelin eksiksiz bir şekilde oluşturulması için, tüm fotoğrafların hedef objeyi tamamen kapsamasına dikkat edilmiştir. Çalışmada fotoğraflar bindirmeli olarak elde çekilmiştir. Bindirmeli fotoğraf çekimi, iç yönlendiricisi bilinmeyen ya da kalibre edilmemiş bir kamera kullanılan uygulamalarda, 3B modelin doğruluğunu artırmaya yardımcı olmaktadır. Manuel olarak çekilen fotoğrafların kamera pozisyonlarının belirlenmesinde bir ölçü düzeni planı yapılmamıştır.

Ardışık olarak çekilen fotoğraflar arasında bindirme oranı kesin bir değer olarak hesaplanmamış olmakla birlikte en az %85-90’lık bir oranda örtüşme yakalamaya dikkat edilmiştir. Distorsiyon hatası giderilmiş fotoğraf örnekleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. iPhone 14 Pro Max akıllı telefon

Tablo 1. iPhone 14 Pro Max akıllı telefon özellikleri

Kamera	
Sensör modeli:	Sony IMX714
Ana kamera sayısı:	3
48 MP Ana Kamera:	24 mm, f/1.78 diyafram,
12 MP Arka kamera 2x	
Lens düzeltme (Ultra Geniş)	
Otomatik görüntü stabilizasyonu	
Seri çekim modu	
Çekilebilen görüntü biçimleri:	HEIF, JPEG ve DNG
Odak uzaklık:	35 mm
Piksel Boyutu:	1,40 x 1,40 µm
Görüntü çözünürlüğü:	4032 x 3024 piksel
Boyut ve Ağırlık	
Genişlik:	77,6 mm
Uzunluk:	160,7 mm
Derinlik:	7,85 mm
Ağırlık:	240 gram
6.7 inç (diyagonal) tam ekran OLED	
Ekran	
460 ppi yoğunlukta 1290 x 2796 piksel çözünürlük	
Kapasite	
128 GB	



Şekil 4. Bindirmeli olarak çekilen fotoğraflar

Görüntülerin tamamı jeo-referanssız olarak elde edilmiştir. Fotoğraflar çekilirken mobil telefonun seri çekim özelliği aktif edilmiş ve toplamda bindirmeli olarak 462 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların çekilmesi işlemi yaklaşık 1 dakika kadar sürmüştür. Fotoğrafların çekim mesafesi yaklaşık olarak 40 cm ve 80 cm arasında değişmektedir. Fotoğrafların hedef objenin bütün detaylarını içerecek şekilde farklı açılardan ve farklı mesafelerden çekilmesine dikkat edilmiştir.

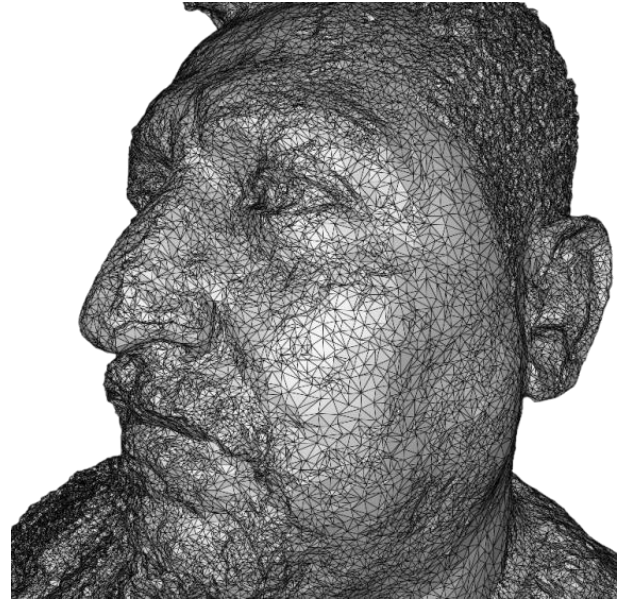
Fotogrametrik verilerin değerlendirilmesinde 3Dsurvey yazılımının 2.17 sürümü kullanılmıştır. Bu yazılımda kamera kalibrasyonları otomatik bir şekilde gerçekleştirildiğinden veri işleme aşamasında bu durum zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Fotoğrafların birleştirilmesiyle 2,2 milyon noktadan oluşan bütüncül ve yoğun nokta bulutu elde edilmiştir. Gürültülü ve alakasız noktalar temizlendikten sonra 1,2 milyon nokta elde edilmiştir (Şekil 5). Ardından bu noktalar kullanılarak 423.708 adet üçgensel yüzey üretilmiştir (Şekil 6). Ardından nokta bulutu ve katı (mesh) model oluşturulmuş ve çekilen fotoğraflar bu modele giydirilmiştir. Son olarak yüksek çözünürlüğe sahip 3B model elde edilmiştir (Şekil 7 ve 8).

3B model elde etme süreci Intel i7 6500U CPU 2.50GHz işlemcisi, Nvidia 940 ekran kartı ve 16 GB belleği bulunan bir iş bilgisayarı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Nokta bulutu



Şekil 6. Üçgen modeller



Şekil 7. 3B model



Şekil 8. 3B model

3. Bulgular

Fotoğraflar ile 3B yüz modelleme sürecinde veri toplama aşaması önemli bir adımdır. Detaylı gerçekçi ve başarılı bir sonuç elde etmek için bu süreç dikkatle planlanmalıdır. Fotoğrafların çekildiği ortamın ışık koşulları, sonuçların kalitesini doğrudan etkilemektedir. Mümkünse, homojen ve yumuşak bir ışık kaynağı kullanılmalı ve aşırı parlak veya koyu alanlardan kaçınılmalıdır. Ayrıca güneş ışığının yönü ve yoğunluğu da dikkate alınmalıdır. Bunun nedeni yüzün büyük ayrıntı noktalarına gelen ışığı homojen bir şekilde dağıtmaktır. Fotoğrafların çekimi ofis ortamında gerçekleştirilmiş ve hedef odanın tam orta noktasında konumlandırılmıştır.

Fotoğrafların geniş ve dar açılardan, yan ve ön pozlardan çekilmesi, modelin doğru ve gerçekçi bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Bu noktada fotoğrafların birbirine bağlanabileceği ve birlikte hizalanabileceği noktalar belirlenmelidir. Bu noktalar genellikle insan yüzündeki belirgin özellikler, gözler, burun ve ağız çevresi gibi alanlar olmaktadır. Ayrıca, fotoğrafların bindirme oranı dikkatle ayarlanmalıdır. Yeterli bindirme oranı, fotoğrafların doğru hizalanmasını ve modellemenin keskin detaylarına erişimi sağlamaktadır.

Bununla birlikte arka plan ve ortam kontrolü yapılmalıdır. Fotoğrafların arka planı ve çevresel unsurların kontrol edilmesi, modelleme sürecinde istenmeyen gürültüyü azaltmaktadır. Dikkat dağıtıcı arka planlar yerine, mümkünse basit ve tek renkli bir arka plan tercih edilmelidir. Ayrıca, çekim yapılan

ortamın stabil ve sessiz olması, kameranın titremesini ve bulanıklığı önlemektedir.

Fotoğraflar çekilirken modelin kafa titreşim hareketlerini minimum seviyede tutmasına özen gösterilmiştir. Nitekim vücudunun modellenmesinde insan vücudunun statik olmayan yapısından ve tarama işlemi sırasında küçük hareketler, nefes alma, göz kırpması gibi yer değiştirmelerin meydana gelmesinden dolayı 3B modelde hatalar meydana gelebilmektedir. Bu gibi hataları önlemek için veri toplanırken, tarama nesnesinin hareketsiz kalması ve dolayısıyla da tarama süresinin mümkün olduğu kadar kısa olması gerekmektedir.

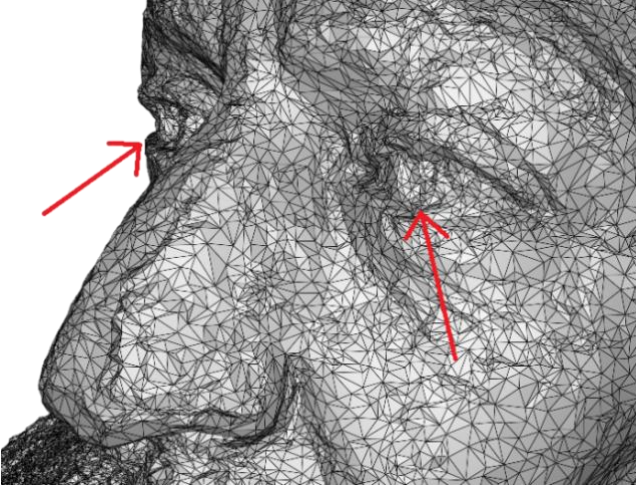
Saçlar ve kıllar çok fazla ince ayrıntı içerdiğinden 3B modelin bu kısımlardaki etkinliği yetersiz kalmaktadır. Bu gibi ince detaylar, genellikle yüksek çözünürlük gerektirdiğinden düşük çözünürlükteki nokta bulutları bu bölgeleri eksik veya bulanık olarak temsil edebilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. 3B modelde saç detayları

Ayrıca göz içi bölgesi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve çok ince detaylar içermektedir. Gözbebeği, iris, göz çukuru, göz küresi gibi detayların, doğru bir şekilde modellenmesinde ışık ve gölge efektlerinin yanı sıra yansımaları da göz önünde bulundurmaktır gereklidir. Bu noktada göz küresi, bir optik mercek gibi davranmakta ve ışığı kırarak görüntünün retina üzerinde odaklanmasına neden olmaktadır. Gözlerin modellenmesinde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, gözlerin genellikle hareketli olmasıdır, göz

hareketleri, doğru veri elde edilmesini engellemektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Gözlerin 3B modellenmesi

4. Sonuçlar

Akıllı telefonların düşük maliyetli ve yüksek performanslı görüntü verileri elde etmedeki potansiyeli gün geçtikçe artmaktadır. Tüketici sınıfı akıllı telefonların donanımları yüksek kaliteli kameralarla donatıldığından akıllı telefon kameraları 3B modellemede uygun maliyetli ve yeterli seviyede hassasiyete çözümler sağlayabilmektedir.

3B yüzey modellerini yeniden oluşturmak için üst üste binen görüntüleri kullanan SfM, birçok disiplinde değerli bir araştırma yöntemi haline gelmiştir. Bu görüntüler optik kameralar ve lazer tarama sistemleriyle toplanabildiği gibi standart tüketici sınıfı kameralarla da toplanabilmekte, bu da SfM yöntemini 3B modelleme alanında düşük maliyetli bir araç haline getirmektedir. Yüksek hassasiyet gerektirmeyen çalışmalarda akıllı cep telefonlarıyla ve SfM yöntemi yoğun nokta bulutu üretimi için iyi bir alternatif olabilmektedir.

Bu bağlamda, insan bedeninin 3B olarak modellenmesi çalışmalarında mobil telefonlar, kolay erişilebilirliği ve kullanımının kolaylığı göz önünde bulundurularak alternatif bir araç olarak değerlendirilebilmektedir. Mobil telefonların geniş kullanıcı kitlelerine ulaşabilmesi ve kullanımının uzmanlık gerektirmemesi, her seviyedeki kullanıcı için 3B modellerin elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada düşük maliyetli yersel fotogrametrik yöntemlerin kullanımıyla, dijital veri elde etme araçlarının çeşitlenmesi ve gelişmesiyle birlikte, hızlı ve gerçekçi modellerin üretilebileceği gözlemlenmiştir.

Çalışmadaki bulgular, medikal görüntüleme, biyometrik tanıma, sanal gerçeklik ve benzeri alanlarda 3B yüz tarama teknolojilerinin daha yaygın olarak kullanılmasında katkıda bulunacaktır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Akan, B., Akan, E., Şahan, A. O., & Kalak, M. (2021). Evaluation of 3D Face-Scan images obtained by stereophotogrammetry and smartphone camera. *International orthodontics*, 19(4), 669-678.
- [2] Alagha, M. A., Ayoub, A., Morley, S., & Ju, X. (2022). Objective grading facial paralysis severity using a dynamic 3D stereo photogrammetry imaging system. *Optics and Lasers in Engineering*, 150, 106876.
- [3] Alptekin, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2019). Üçayak Örenyeri'nin yersel lazer tarayıcı kullanılarak modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 16-20.
- [4] Barbero-García, I., Lerma, J. L., & Mora-Navarro, G. (2020). Fully automatic smartphone-based photogrammetric 3D modelling of infant's heads for cranial deformation analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 268-277.
- [5] Fidan, D., & Fidan, Ş. (2021). Yersel Lazer Tarama Teknolojileriyle Oluşturulan 3B Modellerin Akıllı Kent Uygulamalarında Kullanımı: Mersin Süslü Çeşme Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 48-57.
- [6] Fidan, Ş., & Ulvi, A., (2022). Tarsus Aziz Pavlus kilisesinin yersel lazer tarama teknikleri ile üç boyutlu modelinin oluşturularak sanal gerçekliğe hazırlamanın değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 60-70.
- [7] Fidan, Ş., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Hamal, S. N. G., & Yakar, M. (2023). Combination of Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Heritage Building Information Modeling: A Case Study of Tarsus St. Paul Church. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 89(12), 753-760.
- [8] Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure

- from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5, 155-168.
- [9] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22.
- [10] Lauria, G., Sineo, L., & Ficarra, S. (2022). A detailed method for creating digital 3D models of human crania: an example of close-range photogrammetry based on the use of structure-from-motion (SfM) in virtual anthropology. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14(3), 42.
- [11] Matuzevičius, D., & Serackis, A. (2021). Three-dimensional human head reconstruction using smartphone-based close-range video photogrammetry. *Applied Sciences*, 12(1), 229.
- [12] Sefercik, U. G., Tanrukulu, F., & Aatalay, C. (2020). SfM tabanlı yeni nesil görüntü eşleştirme yazılımlarının fotogrametrik 3B modelleme potansiyellerinin karşılaştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 39-45.
- [13] Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., & Eroğlu, M. M. (2022). Nokta Bulutu Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 23-29.
- [14] Statham, W. (2020). Use of photogrammetry in video games: a historical overview. *Games and Culture*, 15(3), 289-307.
- [15] Ulvi, A. (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- [16] Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2020). 3D Modelling of Kayseri Tekgoz Bridge. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 29-32.
- [17] Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yakar, M. (2023). Modeling of ancient period Sarcophagus with close-range photogrammetry. *Intercontinental Geoinformation Days*, 6, 317-320.
- [18] Uzun, S. D., HAMAL, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 17-20.
- [19] Van Lint, L., Christiaens, L., Stroo, V., Bila, M., Willaert, R., Sun, Y., & Van Dessel, J. (2023). Accuracy comparison of 3D face scans obtained by portable stereophotogrammetry and smartphone applications. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 43(5), 550-560.
- [20] 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.
- [21] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi eserlerin 3B modellenmesi ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.
- [22] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1-1.
- [23] Yiğit, A. Y., Ulvi, A., & VAROL, F. (2020). Artırılmış Gerçeklik Uygulaması ile Kültürel Mirasın 3 Boyutlu Belgenmesi: Özbekistan Chashma-Ayub Türbesi Örneği. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 8(4), 3155-3172.
- [24] Yılmaztürk, F., & Gürbak, A. E. (2018). Yakın resim fotogrametrisinde cep telefonu kameralarının kullanımının araştırılması. *Harita Dergisi*, 159, 44-51.
- [25] Zeraatkar, M., & Khalili, K. (2020). A fast and low-cost human body 3D scanner using 100 cameras. *Journal of Imaging*, 6(4), 21.



© Author(s) 2024.

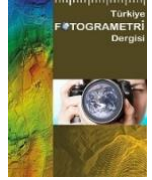
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



Maden Sahalarındaki Stok Miktarının İHA Yardımıyla Belirlenmesi

Atilla Atıcı^{1*}, Mehmet Furkan Paksoy¹, Adem Kabadayı¹

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Yozgat, Türkiye;
(atillaatici3333@gmail.com, paksoyfur38@gmail.com, adem.kabadayi@bozok.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
atillaatici3333@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Atıcı, A., Paksoy, M. F., Kabadayı, A. (2024). Yakın Resim Fotogrametri Yönteminin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımın Araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 08-13.

Geliş : 23.05.2024
Revize : 05.06.2024
Kabul : 11.06.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte İnsansız hava araçlarının (İHA) ortaya çıkması ve gelişmesiyle haritalama çalışmaları hız kazanmıştır. İHA'lara entegre edilen farklı sensörler sayesinde mekânsal veri toplanmasında önemli gelişmeler olmuştur. Düşük maliyetli olması yüksek hassasiyette veriler elde edilebilmesi, istenilen zaman aralıklarında tekrar edilebilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. İHA'lar jeolojik, tarımsal, ekolojik, ormancılık, madencilik ve haritalama gibi çalışmalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Artık İHA'lar bilimsel araştırmada önemli bir yer tutmaktadır. Madencilik alanındaki uygulamalarında hız, ölçek ve hizmet kapsamı açısından hızla gelişmektedir. Bu çalışmada maden sahasının fotogrametrik yöntem alınan harita verilerindeki stok hacimlerinin hesaplaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maden sahası, insansız hava aracı, fotogrametri, sayısal yükseklik modeli.

Determination of Stock Amount in Mining Areas with the Help of UAV

*Corresponding Author:
atillaatici3333@gmail.com

Research Article

Citation: Atıcı, A., Paksoy, M. F., Kabadayı, A. (2024). Determination of Stock Amount in Mining Areas with the Help of UAV. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(1), 08-13 (in Turkish).

Received : 23.05.2024
Revised : 05.06.2024
Accepted : 11.06.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

Today, with the development of technology, mapping studies have accelerated with the emergence and development of unmanned aerial vehicles (UAVs). Thanks to the different sensors integrated into UAVs, there have been significant developments in spatial data collection. It has advantages such as low cost, high precision data can be obtained, and it can be repeated at desired time intervals. UAVs are widely used in studies such as geological, agricultural, ecological, forestry, mining and mapping. UAVs now occupy an important place in scientific research. Their applications in mining are developing rapidly in terms of speed, scale and scope of service. In this study, the calculation of stock volumes in the map data of the mine site obtained by photogrammetric method was carried out.

Keywords: Mine site, unmanned aerial vehicle, photogrammetry, digital elevation model.

1. Giriş

Maden kaynakları hem hammadde hem de enerji açısından önem taşımaları nedeniyle ekonomik kalkınmada önemli bir konuma sahiptir. Sanayinin ve kentleşmenin büyümesiyle birlikte maden kaynaklarına olan talep önemli ölçüde arttı ve buda madencilğe daha fazla ihtiyaç duyulmasına yol açtı. Genel olarak yüzey ve yeraltı madenciliği olmak üzere iki tür madencilik yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey madenciliği, cevher kütlesi üzerinde bulunan ve onu çevreleyen yapıyı alınarak atılmasından sonra bir cevher kütlesinin çıkarıldığı yerdir. Yer üstü madenleri alan açısından sınırlıdır ve genellikle delme, patlatma, yükleme, taşıma ve boşalma için çok gelişmiş mekanik ekipmanlar kullanılmaktadır. Yeraltı madenciliği ise yerin altındaki cevher kütlesinin çıkarılmasında yapılan madencilik yapma işlemleridir. Genellikle yerin çok altındaki maden yataklarında gerçekleştirilmektedir. Bu madencilik süreçlerinin hepsinde kaçınılmaz olarak üretimin güvenliğini ve kalitesini etkileyen bazı sorunlar bulunmaktadır. Açık madencilikte maden derinliği ve açısı arttıkça kazılar şev yüzeylerini doğrudan etki etmekte, bu da üretim kalitesini etkilemektedir. Aynı zamanda madencilikte toz emisyonları kontrolsüz olup, çalışanların sağlığını tehlikeye atmaktadır [1]. Yeraltı işlemleri sırasında çatı aşırı yükün ağırlığı altında çökebilir. Ulaşım koridorlarının havalandırması genellikle yetersiz olduğundan zararlı gazların tahliyesi zorlaşır. İyi mühendislik tasarımı, madencilikte jeolojik tehlikelerin oluşumunu azaltmanın temelidir. Bu sayede daha yüksek düzeyde maden güvenliği, sağlamlık ve dayanıklılığını gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir.

Madencilik sırasındaki güvenlik ve yönetim sorunlarının yanı sıra, bunun yarattığı çevre sorunları da daha sonra göz ardı edilemez [2]. Açık ocak madenciliği, arazi kullanımını etkileyen atık yığınları, atıklar, katı atıklar ve diğer sorunlara neden olmaktadır [3]. Maden derinliği ve maden açısının artmasıyla birlikte şev stabilitesi, açık maden ocaklarının bulunduğu maden sahalarına gizli tehlikeleri de beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda tarım arazileri etkileniyor ve mahsullerin yetiştirildiği ortam zarar görüyor, bu da çiftçilerin gelirlerini etkiliyor ve sosyal sorunları ağırlaştırıyor. Bu nedenle maden sahalarında arazi ıslahı ve ekolojik restorasyon için madencilik sonrası çevresel (özellikle arazi kullanımı, ekolojik ve jeolojik tehlike izleme) gerçek zamanlı izleme gereksinimi vardır ve bu aynı zamanda sürdürülebilir madencilik için makul planlama sağlamanın anahtarıdır.

Hafif araç içi sensörler ve bilgisayarlı görüş içeren insansız hava aracı (İHA) platformlarının hızlı gelişimi, İHA'yı yeni bir veri toplama türü haline

getirdi. İHA tabanlı uzaktan algılama son yıllarda daha modüler, minyatür ve akıllı hale gelmiş ve arazi araştırmaları gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4-6]. Madencilik [7] ve kültürel miras [8]. İHA platformunun düşük maliyet, kısa tekrar ziyaret döngüsü, verimli edinim ve kolay kullanım gibi birçok benzersiz avantajı vardır [9-10]. Bir çalışma alanının görüntüleri, farklı ihtiyaçlara yönelik farklı sensörlerle donatılmış İHA'lar tarafından alınabilmekte ve veri işleme, kolaylıkla elde edilebilen yazılımlarla gerçekleştirilebilmektedir [11]. Güvenli, düşük maliyetli ve zaman açısından verimli kazanım yöntemleri, İHA'ların maden sahaları için uygun olan geleneksel ölçüm yöntemlerine kıyasla yüksek riskli madencilik uygulamalarının izlenmesi ve araştırılmasında büyük potansiyele sahip olduğu anlamına gelmektedir. İHA kullanımıyla gerçekleştirilen fotogrametrik ölçümler birçok durumda haritalamada kullanılan diğer ölçüm yöntemlerine etkili bir alternatif oluşturmaktadır.

Bazı İHA'lar Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve Atalet Ölçüm Birimi (IMU) ile donatılmıştır. Bu sensörler esas olarak İHA'nın navigasyonu ve uçuş stabilizasyonu için kullanılır ve yalnızca havadaki kameraların kabaca dış yöneliminin gerçekleştirilmesine izin verir, bu da fotogrametrik uygulamalar için uygun değildir [12]. Bu nedenle, doğru jeodezik konumlandırma için genellikle GPS sistemleri veya total station ile araştırılan yer kontrol noktalarının kullanımı kullanılmaktadır [13].

Stok sahası; kum, çakıl, asfalt, büyük kayalar vb. gibi madencilik ve inşaat malzemelerinin ileride kullanılmak üzere veya kıtlık zamanında yedek olarak depolandığı geniş bir koleksiyon için kullanılan bir terimdir. Çoğu mühendislik hafriyatı projesinde stok sahaları ve depolama alanları genellikle manuel tekniklerle ölçülür [14]. Hacimsel ölçüm, Maden Mühendisleri için son derece önemlidir ve öncelikle taş ocakları veya ariyet çukurları gibi büyük ölçekli kazıları doldurmak için gereken gerçek malzeme miktarını belirlemek ve miktarın zaman içindeki hacmindeki değişimi tespit etmek için kullanılır.

İHA'lar mühendislik uygulamalarında ve hafriyat hacminin tahmininde hızla geniş bir kabul görmektedir [15]. Son zamanlarda, İHA'nın ölçme ve mühendislik uygulamalarındaki potansiyelinin, kısa sürede ve tehlikeli ve erişilemeyen arazilerde veya ortamlarda karmaşık görevleri yerine getirebildiği için teknolojik ilerleme nedeniyle arttığını vurgulamıştır. Hacim tahmini için gerekli olan saha operasyonu için en uygun tekniğin ve enstrümantasyonun seçilmesi, araştırmanın amacı, erişilebilirlik, görünürlük, sahanın topografik ve morfolojik durumu, hava durumu, güvenlik, doğruluk seviyesi ve araştırma projesinin maliyeti gibi bazı faktörlere bağlıdır.

Geleneksel hafriyat hacmi tahmin yöntemlerinin zaman alıcı olduğunu teyit ederken, aynı zamanda uzak alanlarda jeodezik ölçüm yapmanın zorluklarını ve doğru yüzey modellemesi için yeterli sayıda nokta elde edilememesini geleneksel yöntemlerle ilişkili başlıca sorunlar olarak tanımlamıştır. Yüzey madenciliği endüstrisinde, hafriyat hacmini hesaplamak için gereken mekansal verileri elde etmek için yersel ölçme ekipmanlarının kullanılması çok zordur, hataya açıktır ve dengesiz yeryüzü şekillerinin bulunduğu alanlarda güvenlik açısından büyük risk teşkil eder. Bu durum, sörveyörün madencilik dokümantasyonu ve hacim tahmini için gerekli verileri elde etmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, hacim tahmini için veri toplamaya yönelik geleneksel ölçme yöntemi sınırlı sayıda nokta sağlar ve bu da toprak işlerinin yüzey modellemesinin elde edilebilir doğruluğunu etkiler. Bu nedenle, tahmin edilen hacimlerin doğruluğunu artırmak için 3B koordinatlarda yüksek nokta yoğunluğu sağlayan alternatif yöntemlerin benimsenmesine ihtiyaç vardır. Hafriyat hacmi tahmininde İHA yaklaşımı ile yeterli sayıda nokta bulutu elde edilebilmekte, bu da hacim tahmini için gerekli yüzey modellerinin doğruluğunu artırmaktadır.

Bu makalenin amacı, stok hacminin doğru tahmini için İHA'ların uygulanabilirliğini ve uygunluğunu araştırmaktır. Özel hedefler şunlardır:

1. 3D model oluşturma için gerekli mekansal verileri elde etmek amacıyla İHA (drone) kullanarak çalışma sahasını araştırmak,
2. Doğruluk değerlendirmesi için standart olarak değirmen makinesinden elde edilen gerçek hacmi kullanarak iki yöntemin sağlamlığını doğruluk ve zaman açısından karşılaştırmaktır.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen bölge Eskişehir ili Tepebaşı ilçesi Çukurhisar köyü yakınında 36° 49' 31''K 30° 18' 12''D koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 1).

2.2. Veri Toplama ve İşleme

Bu tür çalışma alanlarındaki uygulamalar için kullanılan İHA'ların çoğu 25 kg'dan daha hafif olan küçük insansız hava sistemleri kategorisine girmiştir. Bu nedenle, veri yakalama işlemi Şekil 4'te gösterilen bir DJI Phantom 4 Pro (1,2 kg ağırlığında) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Benzer bir yaklaşım, veri toplama için DJI dronları kullanan birçok çalışma tarafından kullanılmıştır. Pix4Dcapture kullanılan İHA uçurları önceden planlanarak otonom olarak

gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ekipmanının özellikleri, arazi kullanımı, Yer Örnekleme Aralığının (GSD) hedef boyutu, görüntülerin planlanan yatay ve dikey bindirmeleri dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı



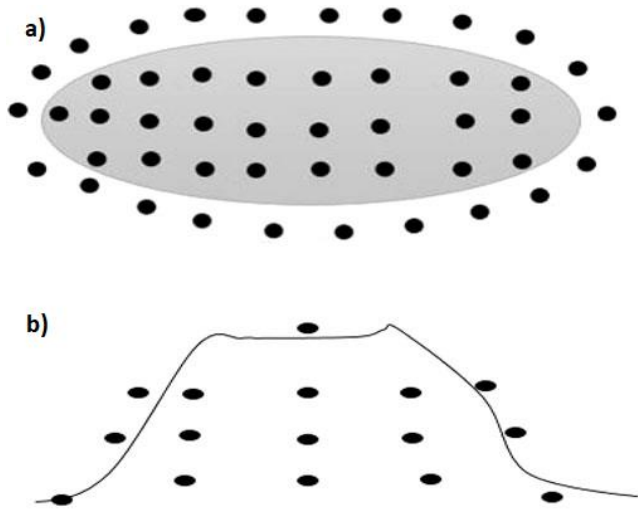
Şekil 2. DJI Phantom 4 Pro cihazı

Yer kontrol noktaları ve kontrol noktalarından oluşan çalışma bölgesinde homojen dağılımlı olarak ağ kurulmuştur. Koordinatlar, sürekli çalışan referans istasyonları ağı (CORS) kullanılarak GNSS gerçek zamanlı ağı (RTK) yöntemiyle her seferinde ölçülmüştür (Şekil 3). 2 cm yatay doğruluk ve 3 cm

dikey doğrulukla sabit noktaların ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3. GNSS alıcısı.



Şekil 4. a) Stok üstten görünüm b) Stok yan görünüm

Stok yığınının eğim değişim yerlerinde manuel olarak GPS alıcısı kullanılarak eğim değişim bölgelerinden stok detaylarının ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Burada riskli taraf yığına tırmanma gerektirmesidir. Süreç olarak veri analizi her bir yöntem için ayrı ayrı yapılmıştır. Drone kullanılarak çekilen görüntüler Pix4Dmapper kullanılarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Pix4D, otomatik bir veri işleme ve dijital yüzey modeli oluşturma sağlar ve doğru bir DSM ve ortomozaik oluşturmak için hata elipsoidini etkinleştirme seçeneği ile geniş taban çizgisi eşleşmelerinden daha fazla katkı alır. Üretilen verilerden elde edilen sonuçlar yorumlandı. Pix4Dmapper yazılımı drone verilerini bir araya getirerek görüntülerden üzerinde çeşitli ölçümlerin yapılabileceği orijinal 3D yüzey modeline dönüştürebilmektedir. Süreç 3 ana aşamadan geçmiştir. İlk olarak, ilk işleme sırasında yazılım, eşleştirme adı verilen bir süreçte 2 veya daha fazla görüntüde görünen özellikleri ve konumları tanımlar [16]. Bu işlem sırasında, yazılım daha sonra eşleşmeyen tüm özellikleri otomatik olarak algılar. İkinci olarak, nokta bulutu ve ağ oluşturma işlemi gerçekleştirilir (Şekil 5). Burada eşleşen

özellikler/konumlar ayarlanır ve uzayda bir nokta bulutu oluşturulur.



Şekil 5. Çalışma Alanı Nokta Bulutu görünümü

Son olarak, buluttaki görüntülere gerçek bir koordinat sistemi atanarak coğrafi referanslama (Şekil 6) yapılır. Yazılım, projeyi gerçek koordinatlarla dünya üzerinde konumlandırır. Daha sonra dijital yükseklik modelleri (DEM) oluşturulmuştur. Bunlar, görüntülerin ortomozaikler gerçekleştirmek ve ortomozaikler oluşturmak için bir temel olarak kullanılmıştır. Bu sonuçta projeye ölçek ve yönlendirme sağlar ve üretilecek model üzerinde farklı ölçümler yapılmasına olanak tanır. Proje daha sonra yeniden eşleştirilir ve optimize edilir. Bilinen stok yığınının hacmini hesaplamak için yeni hacim seçeneğine tıklayın. Ardından stok yığını seçin ve ölçümleri güncelleme seçeneğine tıklayarak Pix4D yazılımının stok hacmini hesaplaması sağlanır (Şekil 6). Hesaplanan hacim 32163.15m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Çalışma Alanı Ortofoto ve DEM Verisinden Hacim Hesabı

GPS yardımıyla alınan nokta verileri Netcad yazılımında üçgen ağ oluşturulmuştur. Paket yazılımın matematiksel formüller kullanılmıştır. Yazılımda üçgen ağlar yardımıyla stok hacmi hesaplanmaktadır. Hesaplanan stok hacmi 32322.62m3 olarak hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar

Tanımlanan tüm faaliyetler ve sonuçlar, veri toplama, işleme, yorumlama ve analizle ilgili çeşitli sonuçlar çıkarmamıza olanak sağlar. İHA'dan başlayarak böyle bir fotogrametrik uçuşun bu tür araştırmalarda uygun bir yöntem olarak ortaya çıktığını söyleyebiliriz; çok sayıda yüksek çözünürlüklü fotoğrafın hızlı bir şekilde elde edilmesine olanak sağladı. Stereoskopik foto yorumlama, büyük ölçekli topoğrafik haritaların oluşturulmasına, ortofoto ve dijital yükseklik verilerinin oluşturulmasında ve hacim hesaplamalarında ayrıntılı incelemesine olanak sağladı. Bu sayede yüksek çözünürlüklü ortofoto ve sayısal yükseklik modeli verilerinden 3 boyutlu modelinin oluşturulmasına olanak tanımıştır.

Stok sahasının kübajs hesabında fotogrametrik yöntemle ve klasik yöntem arasındaki fark 159.47m3 tespit edilmiştir. Arasındaki sapma yaklaşık yüzde 5 olarak bulunmuştur.

Yazarların Katkısı

Atila Atıcı: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme,
Mehmet Furkan Paksoy: Yazılım, Saha Çalışması
Adem Kabadayı: Kontrol, Analiz, Yazılım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Xiao W, Hu Z, Chugh PY et al (2014) Dynamic subsidence simulation and topsoil removal strategy in high-groundwater table and underground coal mining area—a case study in Shandong Province. *Int J Surf Min Reclam Environ* 28(4), 250–263.
- [2] Özdemir B, Kumral M (2019) A system-wide approach to minimize the operational cost of

bench production in open-cast mining operations. *Int J Coal Sci Technol* 1(6), 84–94.

- [3] Esposito, G., Mastrococco, G., Salvini, R., Oliveti, M., & Starita, P. (2017). Application of UAV photogrammetry for the multi-temporal estimation of surface extent and volumetric excavation in the Sa Pigada Bianca open-pit mine, Sardinia, Italy. *Environ Earth Sci*, 76, 103.
- [4] Kabadayı, A. (2022). Maden sahasının insansız hava aracı yardımıyla fotogrametrik yöntemle haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- [5] Yakar, M., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Alptekin, A. (2023). Discontinuity set extraction from 3D point clouds obtained by UAV Photogrammetry in a rockfall site. *Survey Review*, 55(392), 416-428.
- [6] Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Şenol, H. İ. (2023). Açık Maden Ocaklarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 225-235.
- [7] Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- [8] Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- [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), 1-6.
- [10] Rumpler, M., Tscharf, A., Mostegel, C., Daftry, S., Hoppe, C., Prettenthaler, R., ... & Bischof, H. (2017). Evaluations on multi-scale camera networks for precise and geo-accurate reconstructions from aerial and terrestrial images with user guidance. *Comput Vis Image Underst* 157, 255–273.
- [11] Hugenholtz, C. H., Walker, J., Brown, O., & Myshak, S. (2015). Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry. *Journal of Surveying Engineering*, 141(1), 06014003.
- [12] Kabadayı, A. (2022). Açık maden ocağında hacim hesabı için GNSS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 52-57.
- [13] Tucci, G., Gebbia, A., Conti, A., Fiorini, L., & Lubello, C. (2019). Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV

- photogrammetric surveying. *Remote Sensing*, 11(12), 1471.
- [14] Kaya, Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M., & Polat, N. (2019). Hacim hesaplarında İHA kullanımı: Osmanbey kampüsü örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 7-10.
- [15] Wu, C., Kong, Z., Duan, X., Zhu, H., and Zeng, S., (2013). Inhibition of PARP1 by small interfering RNA enhances docetaxel activity against human prostate cancer PC3 cells *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 3, 127-132.



© Author(s) 2024.

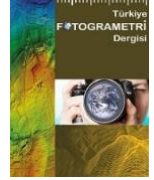
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



Türk Motiflerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Dijitalleştirilmesi ve Arşivlenmesi

Eda Menekşe^{1*}, Ali Ulvi^{2*}

^{1*} Harita Mühendisi, 33110, Mersin, Türkiye; (menekseda94@gmail.com)

² Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
menekseda94@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Menekşe, E., & Ulvi, A. (2024). Türk Motiflerinin Fotogrametrik Yöntemlerle Dijitalleştirilmesi ve Arşivlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 14-22.

Geliş : 18.10.2023
Revize : 04.06.2024
Kabul : 12.06.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Tarih boyunca geniş coğrafi alana yayılan Türklerin temellerini attığı düşünülen dokuma sanatı, bir toplum kültürünü yansıtmada ve aktarmada önemli bir araç olarak kullanılabilir. Farklı kültürler ev sahipliği yaptığı için bu dokumalar, teknikleri ve desenleri bakımından çok çeşitlilik göstermektedir. Dokuman halı, kilim, heybe, vb. motifler bir anlamda dokuyanların mesajlarını ve içinde bulunduğu, ruh halini, özlemlerini, dileklerini, acılarını, inançlarını, anılarını kısacası bütün yaşamlarını paylaştığı sembolik mesajlarla doludur. Bu sebeptendir ki bir toplumun kültürünü aktaran dokuma motiflerini barındıran tarihi eserler belge niteliğinde tanımlanabilmektedir. Bu yüzden kültürü gelecek nesillere aktarmada önemli bir araç olarak kullanılabilir bu eserleri sanal ortamda koruma altına almak için çeşitli adımlar atılmıştır. Dijitalleşme ile birlikte bu adımların en başında fotoğrafik belgeleme ile birlikte büyük gelişme gösteren fotogrametri yöntemi gelmektedir. Fotogrametri yöntemi ile çekilecek fotoğraflar kullanılarak hedef nesneye ait kolay, hızlı, ekonomik ve hassas üç boyutlu (3B) modeller elde edilebilmektedir. Bu çalışmada fotogrametrik çekim esasları dikkat alınarak tarihi Türk motiflerinin bulunduğu dokumalar işlenmiş ve yüksek çözünürlüklü ortofoto, 3B model ve nokta bulutları oluşturulmuştur. Elde edilen dijital ürünler kullanarak motiflerin 3B çizimleri vektör veri olarak dijital ortamda arşivlenmiştir. Çalışma sonucunda kültürel desenlerin sonraki nesillere aktarılması için yapılan belgelemede yersel fotogrametrik tekniklerin kullanılması dijitalleştirme anlamında büyük bir avantaj sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: PhotoModeler, motif, fotogrametri, 3B modelleme.

Digitization and Archiving of Turkish Motifs with Photogrammetric Methods

*Corresponding Author:
menekseda94@gmail.com

Research Article

Citation: Menekşe, E., & Ulvi, A. (2024). Digitization and Archiving of Turkish Motifs with Photogrammetric Methods. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(1), 14-22 (in Turkish).

Received : 18.10.2023
Revised : 04.06.2024
Accepted : 12.06.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

The art of woven, thought to have laid the foundations of Turks that spread across the wide geographical area throughout history, can be used as an important tool for reflecting and transferring a society's culture. Since it is home to different cultures, these documents vary widely in terms of techniques and patterns. Carpet, rug, sculpture, etc. the motifs, in a sense, are the messages of the weaving, and the mood, the longing, the wishes, the pain, it's filled with symbolic messages that share their beliefs, their memories, their whole lives. For this reason, historical artifacts that contain woven motifs that convey the culture of a society can be defined as documents. Therefore, several steps have been taken to protect these works in virtual environments, which can be used as an important tool for transferring culture to future generations. With digitization, the first steps come with photographic documentation, along with a method of photogrammetry, which is a major improvement. Using photographs to be taken using the photogrammetry method, easy, fast, economical and accurate three-dimensional (3D) models of the target object can be obtained. In this study, documents with historical Turkish motifs were processed and high-resolution orthophoto, 3B models and spot clouds were created, taking into account the principles of photographic shooting. Using the acquired digital products, drawings 3B of the motifs are archived as vector data in digital media. The use of terrestrial photogrammetry techniques in documentation for the transfer of cultural patterns to the next generation has provided a great advantage in digitizing.

Keywords: Photomodeler, motif, photogrammetry, 3D modeling.

1. Giriş

Türk toplumunun bilgi ve kültür seviyesinin yükseltilmesini sağlamak ve farklı nedenlerle tahrip olan, yok olmaya yüz tutan kültürel nitelikteki değerlerin yaşatılması, dokümantasyon işleminin gerçekleştirilmesi ve gelecek nesillere taşınması için gerekli özveri çalışmaları yapılmasında kişilere büyük görevler düşmektedir. Tam da bu nokta, insanlar anlatmak istediklerini bazen mağara duvarlarına, bazen kayalara, bazen de kilime veya halıya aktarmıştır. Bu bağlamda, insanlar anlatmak istedikleri olay ve durumları bütüncül şekilde ele alıp tasarlamakta ve böylece dokumaktadır. Bu noktada, motifler son derece önemli olup, bir cümleyi oluşturan kelimelere benzemektedir. Motiflerin demek istediğini anlayanlar, dokunan bu halı veya kilimlerin özünü kavrayabilmekte ve yorumlayabilmektedir. Halı ve kilimler sanat eseri özelliği taşıyıp, döneminin ve ortaya çıkmasını sağlayan kişi veya kişilerin sosyo-kültürel yapısını gözler önüne sermektedir. Bu yönüyle, halı ve kilimler geçmişe ayna tutmaktadır. Halı ve kilimlerde yer alan motifler, şekilsel gösterimlerle kendi üzerinde yer aldığı obje ile bütünleştirilerek objeye manevi bir anlam kazandırmaktadır. Ayrıca, eşyaya bir kimlik de kazandırmaktadır. Bu sembol ve motiflerin, geleneksel halı ve kilimleri dokuyanlar kişilerin tutum ve davranışlarının bir yansıması olduğunu ifade etmek yanlış olmayacaktır.

Doğu Türkistan'dan Anadolu'ya çok geniş bir alanda yaşamış ve yaşamaya devam eden Türk boy ve oymaklarının doğal hayat şekli, sosyal, ekonomik ve kültürel birikimleri dokumalarda hayat bulmuştur. Bu durum aslında kişinin veya toplumların kendini ifade etme şeklidir. Oymaklar arasındaki farklılıklar dokumalardaki motif ve renklere yansımıştır ve de günümüze ulaşmıştır. Türkmen dokuyucusu sosyal hayatın izlerini, gelenek ve göreneklerini, bulunduğu oymağın imlerini, çevresindeki kişilerden etkilendiği ve güzel gördüğü objeyi, durumu veya olayı bulunduğu coğrafyanın boyaları ile renklendirmek suretiyle sembolize etmiştir. Bu yönüyle, halı ve kilimlerde simgeleştirilmiş motifler ve renkler, dokuyucunun bulunduğu toplumu doğrudan yansıtmaktadır [1].

Türklerin geniş bir coğrafyada yaşadığı ve tarih boyunca çeşitli nedenlerden dolayı göç ettiği düşünüldüğünde kadim kültürlerini farklı bölgelere taşıdığını söylemek mümkündür. Bu kapsamda, Orta Asya ve Anadolu'da, çok geniş alanlarda, Türk kültürel yapısını yansıtan ve kültürel miras niteliği taşıyan çok sayıda halı ve kilimlere rastlamak mümkündür. Bunlar aynı zamanda tarihe ışık tutan objeler olması yönüyle de son derece önem arz etmektedir. Toplumsal ilişkilerde sözlü iletişim gibi

önem arz eden diğer iletişim aracı sözsüz iletişimdir. Tam da bu nokta, geleneksel dokumalar (halı ve kilimler) sözsüz iletişimin gerçekleştirilmesini sağlayan en önemli unsurlardan ikisi olarak dikkat çekmektedir. Bu dokumalarda sözsüz iletişimin gerçekleştirilmesini ise iki temel etken sağlamaktadır. İlki, motiflerin sessiz dili ikincisi ise zengin renklerdir. Dokümanlar sahip olduğu bu özellikler sayesinde sessiz bir şekilde geçmiş günümüze taşımaktadır. Günümüzde ise bir yer yaygısı olarak sığ bir anlayışla algılanan bu geleneksel dokümanlar aslında geniş ve detaylı bir kültürel, sosyal ve tarihsel süreci, anonim Yörük estetiğini, Anadolu Türk etnografyasını yansıtan belgeleridir. Tüm bu sebeplerden dolayı, kadim tarihimizin çeşitli dönemlerine ışık tutan ve çok önemli kültürel miras olan bu dokumaların araştırılması son derece elzemdir.

Tez çalışmasında teknolojik ilerlemenin sonucu olarak ortaya çıkan Eos Systems Inc. tarafından geliştirilen Photomodeler (PM) yazılımı ile Türk Motiflerinin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve kültürel miras olan bu eserlerin korunma-kullanılma dengesi içerisinde dokümantasyonu yapılarak gelecek kuşaklara aktarılması amaçlanmıştır.

1.1. Literatür Özeti

Topoğrafik olmayan fotogrametrik uygulamalarda ağırlıklı olarak yerden çekilen görüntüler kullanılmaktadır [2]. Bundan dolayı, topoğrafik olmayan uygulamalar yersel fotogrametri sınıfı olarak yeniden değerlendirilmiştir. Başka bir ifadeyle, alım merkezinin yer üzerinde olduğu fotogrametri türüdür [3]. Yersel fotogrametride objelerden yansıyan elektromanyetik ışınlar analog ya da sayısal olarak kaydedilir. Böylece, görüntüler değerlendirilmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bilgisayar ve yazılımlar gelişmiştir. Bu sayede yersel fotogrametrinin kullanım alanı genişlemiştir. Mühendislik uygulamalarında mimari restorasyon ve restitüsyon projelerinde, arkeolojik kazı çalışmalarında, kültürel mirasın belgelemesinde aktif şekilde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir [4-5].

Motifler üzerine yapılan bu çalışmada kullanılmış olan teknik, yersel fotogrametri tekniği olarak bilinmektedir. Bu teknikte çalışmalar yer odaklı olarak yürütülmektedir. Bu tekniğin amacı; objeye veya esere ait 2B fotoğraflar ve eser üzerinde ölçülen noktalardan yararlanarak 3B ve ölçülebilir bir model üretmektir.

Yersel fotogrametri tekniği, kültürel mirasın dokümantasyon çalışmaları, 3B model elde etme ve bu verilerin kullanılması sonucu birçok alanda kullanılmaktadır. Araziden verilerin toplanması, verilerin değerlendirilmesi ve bu verilerden sonuç ürün elde edilmesi yersel fotogrametri tekniğinin işlem

adımlarıdır. Çalışmanın en önemli aşaması verilerin elde edilmesi aşamasıdır. Bu adımda elde edilen veriler iki türdür. Bu veriler; araziden elde edilen veriler ve yer kontrol nokta verileridir. 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 işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için, PM, Pictran, Netcad, Autocad gibi teknik yazılımlardan faydalanılmaktadır [6].

Konu ile alakalı literatüre baktığımız zaman Kum, 2019 [7] yılında yapmış olduğu çalışmada, fotogrametri tekniği ile Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak "Drama" motifli Tokat yazma kalıbının düşük maliyet ve yüksek çözünürlükte 3d modelinin üretilmesi amaçlanmıştır. Yazma kalıbının yüksek çözünürlükte 3d modellenmesi için yeterli sayı ve açıdan fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Yazma kalıbı üst, alt ve orta açılardan fotoğraflanmıştır toplamda 93 kare fotoğraf vardır. Fotoğraf çekiminde canon 650d makine, pdx 501 tripod, yazılım olarak da agisoft photoscan kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak fotogrametri tekniği ile "Drama" motifli Tokat yazma kalıbının düşük maliyet ve yüksek çözünürlükte 3d modeli üretilmiştir. Ergun ve ark. 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada fotogrametrik tekniği bir Osmanlı çinisinin dökümantasyonu için kullanılmıştır. Çilingiroğlu ve Gürbıyık[8] 2019 yılında: İzmir İli Bayındır İlçesi Çenikler Mahallesi'nde yapmış oldukları çalışmada kaya üstü tasvirlerin uzaktan ve detaylı fotoğrafları çekilip tasvirlerin ölçüleri alınmış, taslak çizimleri tamamlanarak fotogrametri yöntemiyle üç boyutlu modellemesi oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Türk Motifleri

Motifi, kültürlere ait değerler sistemi olarak ifade etmek mümkündür. Bununla birlikte, motifin kültürleri tanımlamak, kültürleri yansıtmak, kimlikleri gün yüzüne çıkarmak ve geleneği korumak gibi işlevleri de bulunmaktadır. Sanat ve sıradan hayat arasında güçlü bir bağ kurulmasını sağlamaktadır. Motiflerin oluşmasında bulunduğu coğrafyanın özellikleri, toplumsal yapı, kültür seviyesi, hayvanlar ve bitki örtüsü gibi etkenler önemlidir. Geçmişten günümüze değin farklı coğrafyalarda yaşamış toplumların beklenildiği üzere motifleri de kültürlerinin özelliğini yansıtmaktadır. Dokumalarda yer alan motiflerin her biri farklı bir mana taşımakta ve geçmişin izleri taşımaktadır [9]. Türk halı ve kilim dokuma sanatında da motif son derece önemli yer

taşımaktadır. Türk Dil Kurumu (TDK)'ya göre motif, bir araya gelerek bir bezeme işini gerçekleştiren ve tek başlarına bir bütünlük sağlayan öğelerden her biri olarak ifade edilmektedir.

2.2. Türk Motiflerindeki Desenler, Renkler ve Anlamları

Türk dokumalarında motifler dokunurken günlük yaşamdan semboller kullanılmıştır. Örneğin, özgürlüğü temsil eden akrep en çok kullanılan desendir. Öte yandan, deve ayağı taşımacılığı temsil etmektedir. Orta Asya'dan, Asya'nın en batı ucuna kadar geniş coğrafyada yaşamış Türkler her bölgenin iklimi, hayatın iyi ya da kötü yönlerini dokuma eserlerde yansıtmıştır. Türk dokumaları hikâyelerine bağlı olarak desen, desenlere göre de adlandırılmaktadır.

• Elibelinde Motifi

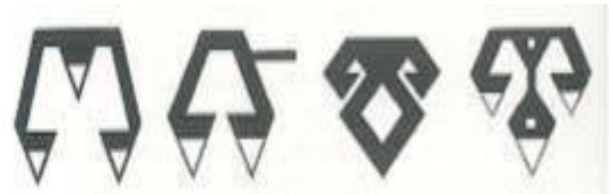
Başlıca dişiliği sembolize eden motiftir. Sadece, analık veya doğurganlığı değil, bununla birlikte bereketi, kısmeti ve neşeyi de temsil etmektedir.



Şekil 1. Elibelinde motifi.

• Koçboynuzu Motifi

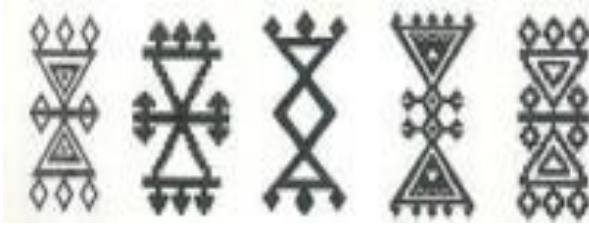
Adından da anlaşıldığı gibi bir koçboynuzunu anımsatan bu motifin Türk kültüründe kahramanlığın, güçlü olmanın ve erkekliğin bir ifadesidir. Erkeklik sembolü olan koçboynuzu motifi, erkek tanrıyla simgelemektedir.



Şekil 2. Koçboynuzu motifi.

• Saçbağı motifi

Evlilik talebini temsil etmektedir. Doğum ve çoğalmayı karakterize etmektedir. Evlenmek genç kızlar zülûf kesip tek örgü yapar, yeni evli olan genç kadınlar ise çift örgü yapıp saçın ucuna farklı renkteki iplerle süsleme yapmışlardır



Şekil 3. Saçbağı motifi.

- Pıtrak motifi

Pıtrak tarlada yer alan, dikenleri sayesinde insanlara ve hayvanlara tutunan bir bitkidir. Anadolu'da pıtrağın sahip olduğu dikenlerin kötü gözü uzaklaştırdığına inanılmaktadır. Bu yüzden Anadolu insanı bunu nazarlık olarak kullanmıştır.



Şekil 4. Pıtrak motifi.

- Akrep motifi

Bu motif aynı zamanda şeytanın ruhunu temsil etmektedir. Efsaneye göre, akrep şöyle demiştir. "Ben ne doğal bir ruhum ne de şeytan. Bana dokunan herkese ölüm getiririm. İki boynuzum ve bir kuyruğum var. Boynuzlarımın adı acımasızlık ve nefret, kuyruğum ise hançerdir. Ben sadece bir kez doğururum. Diğer canlılar bereket işareti olan doğum benim için bir ölüm işaretidir."



Şekil 5. Akrep motifi.

GMM Türk halı ve kilim dokumalarındaki motiflerin anlamlar gibi kullanılan renklerin anlamları da, bölgesel ve kültürel farklılıklara göre değişebilir. Ancak genel olarak, Türk halı ve kilim dokumalarında kullanılan renkler, doğanın ve hayatın farklı yönlerini ifade etmek için seçilmiştir.

Dokumalardaki motiflerin anlamları:

- **Kırmızı:** Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde sıklıkla kullanılan kırmızı renk, hayatın ve gücün sembolüdür. Aynı zamanda aşk, tutku ve savaş gibi duyguları ifade eder.

- **Mavi:** Mavi renk, huzur, güven ve sadakatin sembolüdür. Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde kullanılan bu renk, deniz ve gökyüzü ile de ilişkilendirilir.

- **Yeşil:** Yeşil renk, doğanın ve büyümenin sembolüdür. Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde sıklıkla kullanılan renk, umut, tazelik ve bereketi ifade eder.

- **Sarı:** Sarı renk, Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde daha az kullanılan bir renktir ancak güneşin ve ışığın sembolü olarak kabul edilir. Bu sebeptendir ki zenginlik, ihtişam ve mutluluğu da ifade eder.

- **Beyaz:** Beyaz renk, saflık, masumiyet ve temizliğin sembolüdür. Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde kullanılan beyaz renk, aynı zamanda ölümün ve sonsuzluğun sembolü olarak da kabul edilir.

- **Siyah:** Siyah renk, Türk halı ve kilim dokuma motiflerinde nadiren kullanılır ancak karanlığın, gizemin ve ölümün sembolü olarak kabul edilir [10].

2.3. Türk Motiflerinin Photomodeler programı ile Arşivlenmesi

Bu çalışmada, motiflere ait fotoğrafların değerlendirilmesi ve modellenerek sonuç verilerinin elde edilmesi amacıyla fotogrametrik yazılımlardan biri olan PM fotogrametrik yazılımı kullanılmıştır. Bu da özellikle çok fazla detay olan motiflerin modellenmesinde PM ile daha fazla detay noktasının elde edilebileceğini ve objeye ait özelliklerin daha iyi anlaşılabilirliğini göstermektedir. PM'nin diğer pozitif yönü, bu yazılım ile elle 3B çizim yapılabilir. Programdan elde edilen 3B modeller las, kat, stl, obj, csv, byu, facet, dat, txt, dxf, ham metin dosyası, 3B nokta bulutu içe aktarma formatları veya diğer bilinen formatlara aktarılabilir.

2.4. Metrik Olmayan Resim Çekme Makinesi

Amatör fotoğraf çekme makinesi, profesyonel düzeyde ekipmanlara veya bilgiye gerek olmayan kişilerin kullanımına yönelik tasarlanmış kullanımı kolay bir fotoğraf makinesidir. Genellikle otomatik ayarlar ve kullanıcı dostu arayüzlerle donatılmıştır, böylece kullanıcılar kolayca fotoğraf çekebilirler. Amatör fotoğrafçılar için uygun fiyatlı ve çeşitli modeller mevcuttur, çünkü temel düzeyde fotoğraf çekme ihtiyacını karşılayacak işlevselliğe sahiptirler. Ancak, profesyonel gereksinimlerini karşılamak için daha kapsamlı, gelişmiş özelliklere sahip olan profesyonel resim çekme makineleriyle karşılaştırıldığında bazı sınırlamalara sahip olabilirler. Tez projesinin Arazi çalışmalarını Canon marka IXUS 180 model kamera kullanıldı. Kameranın teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Tablo 1).



Şekil 6. Canon IXUS 180.

Tablo 1. Canon IXUS 180'nin teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer
Sensör Çözünürlüğü	20 Megapiksel
Odak Uzaklığı	4,3 – 43,0 mm
Zum	Maksi Optik 10x, ZoomPlus 20x
Harici Flaş	Canon Yüksek Güçlü Flaş HF-DC2
Maksimum f/sayısı	f/3,0 – f/6,9
AF Yardımcı Işın	Var
Görüntü Sabitleme	Var

2.5. İş Akışı

Çalışmada öncelikle el işlemesi halı ve kilimlerin nerden temin edileceği tespit edilmiştir. Özellikle Türkmen evlerinin eski gelenekleri devam ettirdiği görülünce farklı desenlerde motiflere farklı farklı evlerden ulaşılmıştır. Dokumaların resimlerini maximum kapasite ile çekilmesi hedeflenmiştir. 3B modelleme ve 3B çizim için yeteri miktarda resim çekildikten sonra PM de kamera kalibrasyonu tanımlanmış, otomatik dengeleme yapılmıştır.



Şekil 7. Proje iş akışı modeli.

3. Uygulama

3.1. SfM Fotogrametrisi

SfM [11], yerel hareket sinyalleriyle birleştirilebilen iki boyutlu görüntü dizilerinden üç boyutlu yapıları tahmin etmeye yönelik bir fotogrametrik aralık görüntüleme tekniğidir. Bilgisayarlı görme ve görsel algı alanlarında incelenmektedir. Biyolojik görüşte SfM, insanların (ve diğer canlıların) hareketli bir nesnenin veya sahnenin yansıtılan 2 boyutlu hareket alanından 3 boyutlu yapıyı kurtarabilmesi olgusunu ifade eder. fotogrametrik araştırma, video dizilerinden sanal gerçeklik modellerinin otomatik olarak yeniden oluşturulması ve kamera hareketinin belirlenmesi (örneğin, bilgisayar tarafından oluşturulan nesnelerin görüntülenmesi için) dâhil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

SfM fotogrametrisi, bir nesnenin üç boyutlu yapısını ve hareketini, fotoğraf veya görüntülerin bir dizi içinden çıkarır. Bu teknik, bir nesnenin hareketini, konumunu ve rotasyonunu belirlemek için görüntülerdeki özellikleri eşleştirir ve bu bilgileri bir 3B model oluşturmak için kullanır.

SfM fotogrametrisinin bazı uygulama alanları şunlardır:

3B Modelleme: Bir nesnenin üç boyutlu modelini oluşturmak için kullanılır. Bu model, mimari, arkeoloji, coğrafya gibi alanlarda kullanılabilir.

Haritalama ve Ölçümler: Yeryüzündeki nesnelerin ölçülmesi ve haritalanması için kullanılır. Bu, kentsel planlama, arazi analizi ve çevresel izleme gibi alanlarda faydalıdır.

Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik: SfM ile elde edilen üç boyutlu modeller, sanal gerçeklik (VR) veya artırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarında kullanılabilir.

Endüstriyel Uygulamalar: Ölçeklendirme, kalite kontrolü ve stok yönetimi gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

Bu teknoloji, dijital kameraların ve bilgisayarların gelişimiyle daha erişilebilir hale gelmiştir. SfM fotogrametrisi, karmaşık nesnelerin üç boyutlu modellenmesi için güçlü ve esnek bir araçtır.

Çalışma Prensipleri: SfM fotogrametrisi, bir nesnenin üç boyutlu yapısını ve hareketini belirlemek için bir dizi 2B görüntüden yararlanır. İlk adım, görüntülerdeki ortak özellikleri (örneğin, köşeler, kenarlar, noktalar) bulmaktır. Ardından, bu ortak özelliklerin hareketini takip ederek kamera hareketlerini (yer değiştirme ve rotasyon) ve nesnenin 3B yapısını belirlemek için bir matematiksel model oluşturulur.

Özellik Eşleştirme: İlk adım, görüntüler arasında ortak özelliklerin eşleştirilmesidir. Bu, özellik çıkarımı ve eşleştirme algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilir. Özellikler genellikle köşe, kenar veya benzersiz

desenler gibi belirgin noktalar. Görüntüler arasında eşleşen bu özellikler, kamera hareketlerini tahmin etmek için kullanılır.

Kamera Hareketlerinin Tahmini: Eşleştirilmiş özelliklerden yola çıkarak, her bir kameranın konumu ve rotasyonu belirlenir. Bu, kameranın hareketini izleyen bir algoritma kullanılarak yapılır. Kameranın hareketi belirlendikten sonra, her bir görüntünün 3B konumu hesaplanabilir.

Nesnenin 3B Yapısının Belirlenmesi: Kamera hareketleri ve görüntülerdeki 3B konumlar bilindiğinde, nesnenin 3B yapısı tahmin edilebilir. Bu adım, kamera kalibrasyonu ve üç boyutlu rekonstrüksiyon algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuç, nesnenin 3B modelidir.

Optimizasyon: Elde edilen 3B model, genellikle optimize edilir. Bu, modelin daha doğru hale getirilmesi için yapılan bir süreçtir. Optimizasyon, noktaların konumunu ve kamera parametrelerini iyileştirerek yapılır.

SfM fotogrametrisi, karmaşık nesnelerin üç boyutlu modellemesi için güçlü bir araçtır. Ancak, büyük miktarda veri işleme gerektirir ve doğru sonuçlar elde etmek için yeterli sayıda ve kalitede görüntüye ihtiyaç duyar. Bu nedenle, genellikle yüksek performanslı bilgisayarlar ve özel yazılımlar gerektirir.

Yapılan çalışmada modellenen olan objeler SfM tekniğine göre fotoğrafları çekilip arazi çalışması tamamlanmıştır.

Arazi çalışmasında elde edilen verilerin işlenerek her bir motif tek tek çizimi yapılmış ve 3D modeli üretilmiştir.



Şekil 8. Uygulama 1.



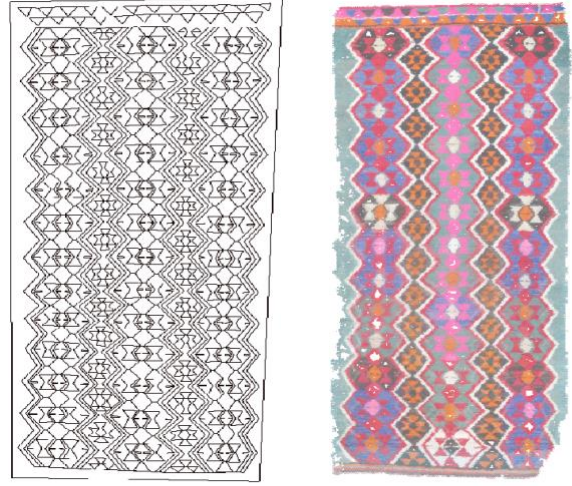
Şekil 9. Uygulama 2.



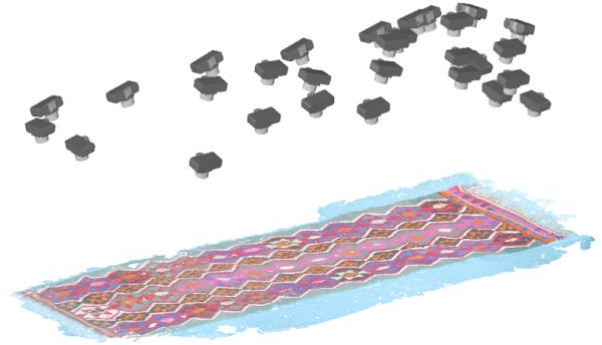
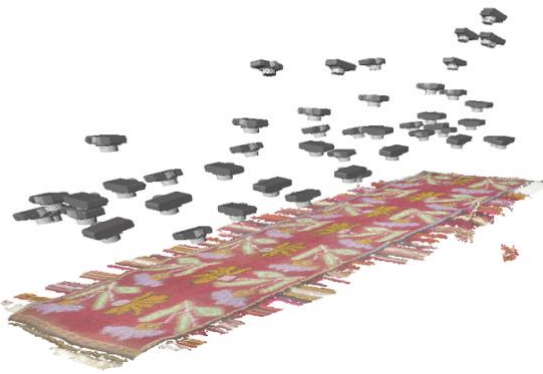
Şekil 10. Uygulama 3.



Şekil 11. Uygulama 4.



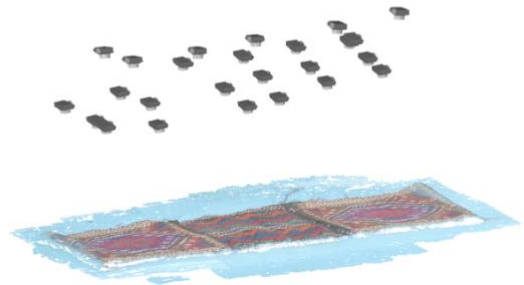
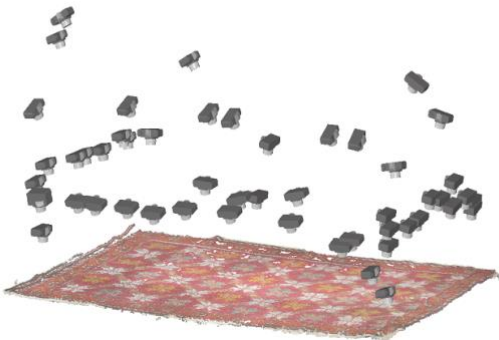
Şekil 13. Uygulama 6.



Şekil 12. Uygulama 5.



Şekil 14. Uygulama 7.





Şekil 15. Uygulama 8.

4. Sonuçlar

Gelecek kuşaklara aktarılması gereken kültür varlıklarımız, ilerleyen teknoloji sebebiyle dokumaların kullanım alanı giderek azalmış ve insanların bu uğraştan yeterli seviyede para kazanamamaları sonucunda, zamanla eski önemini yitirmiştir. Var olan örneklerin dokümantasyonunu yapmak, mümkün olduğunca önemini aktarabilmek, kültürel öğelerimize sahip çıkmak, korunmak ve gelecek nesillere aktararak yaşatılmasını sağlamak son derece önem arz etmektedir. Artan nüfus ile kültürel farklılıklar oluşmakta, geçmiş ve günümüz arasındaki kültür öğelerinin birbirleriyle bir bağ kurabilmesi zorlaşmaktadır. El sanatlarımızdaki motiflerin yok olmasını engellemek, gelecek nesillere bozulmadan aktarabilmek ve Türk kültür benliğimizi ileriki kuşaklarda da yaşatabilmek için arşivleme çalışması yapılmıştır.

Arşivleme çalışmasına düşük maliyetli amatör RÇM olan Canon IXUS 180 ile farklı yörelerden değişik modellere sahip motiflerin resimlerinin çekilmesi ile başlanmıştır. Çalışma alanında uygulanan yersel fotogrametri tekniği, özellikle çalışmanın geleneksel tekniklere göre çok daha hızlı sonuç vermesi, daha az sayıda personel ve daha az maliyetli donanım ile gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır.

Resim çekim esnasında minimum 10 adet olacak şekilde objenin farklı açılardan resimlerinin çekilme işlemi yapılmıştır. Motiflerin modellemesinde PM kullanılmıştır. PM de çizimlerin manuel olarak da

yapılabilmesi bu yazılımın ekstra olarak sağladığı faydalardan biridir. Ayrıca elle çizim suretiyle elde edilen motiflere ait hatların, nokta bulutu yoluyla elde edilen modelin hatlarına göre keskin olduğu da görülmüştür. Bu durum bu çalışmaya konu olan motiflere çizim aşamasında avantaj sağlamış olsa da hassasiyet göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmaya ait modelleme çalışmasının nokta bulutu oluşturmak suretiyle de yapılmasına karar verilmiştir.

Resim çekim işlemleri sırasında günün uygun saatleri seçilmesine rağmen fotoğraflarda yansıma ve kısmen de gölgelenmelerin önüne geçilemediği için ve yıllardır varlığını koruyan halı ve kilimler zamana karşı direnemeyip deforme olan bazı kısımlarında motiflerin tam fotoğrafları çekilemediği için bütün bunlar çalışmada karşılaşılan dezavantajlar olarak söylenebilir. Bu tez çalışmasında Fotogrametrik yöntem ile fotoğraflar üzerinden, yersel lazer tarayıcılar kadar hassas ve sık nokta bulutları üretmeye imkân sağlayan PM yazılımı tercih edilerek Çalışma sonucunda kültürel desenlerin sonraki nesillere aktarılması için yapılan belgelemede yersel fotogrametrik tekniklerin kullanılması dijitalleştirme anlamında büyük bir avantaj sağlamıştır. Literatürde verilmiş olan çalışmalardan farkı bu çalışmanın halı-kilim motifleri üzerine olması ve Fotogrametri tekniğinin bu alanda uygulanmış olmasıdır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2022-1-TP2-4641 proje numarası ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

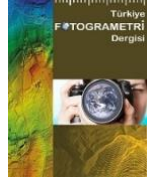
- [1] E Kayıpmaz, F. (2006). Uluslararası Halı Pazarında Türk Halıcığının Konumu Paneli. *Ankara Park Otel, Ankara.*
- [2] Ulvi, A. (2015). Metrik olmayan dijital kameraların hava fotogrametrisinde yakın resim çalışmalarda (yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği

- üzerine bir çalışma, Doktora Tezi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi.*
- [3] Jiang, R., Jáuregui, D. V., & White, K. R. (2008). Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review. *Measurement*, 41(8), 823-834.
- [4] Ulvi, H. (2019). Arkeolojik Sit Alanlarında Yapılan Çevre Düzenleme Projelerinin Yürünelirliğe Etkisinin Araştırılması Değle Ören Yeri Örneği. *Journal of International Social Research*, 12(64).
- [5] Döş, M. E., & Yiğit, A. Y. (2022). Tarihi minberlerin fotogrametri yöntemi ile belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 58-65.
- [6] Kıvanç, H. (2019). Kültürel miras belgeleme çalışmalarında fotogrametrik yöntem ile yersel lazer tarama yönteminin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Konya Teknik Üniversitesi.*
- [7] Kum, Ö. (2022). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3D modellenmesi: Tokat yazma kalıbı örneği. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 237-252.
- [8] Çilingiroğlu, Ç., & Gürbıyık, C. (2019). İzmir'de Yeni Keşfedilen Kaya Üstü Tasvirleri. *Phaselis V*, 161-168.
- [9] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2006). Close range photogrammetry. *Caithness, UK: Wiley Whittles Publishing*, 510.
- [10] URL-1. <https://www.tarihte.net/turk-hali-ve-kilim-motifleri-ve-anlamlari/>.
- [11] Ullman, S. (1979). The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 203(1153), 405-426.



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Yakın Resim Fotogrametri Yönteminin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımın Araştırılması

Yaren Doğdu ^{1*}, Büşra Nur Bakla ²

^{1*} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (yarendgd1@gmail.com)

² Harita Mühendisi, 80000, Osmaniye, Türkiye; (bsnrnbakla@gmail.com)



*Sorumlu Yazar:
yarendgd1@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Doğdu, Y., Bakla, B. N. (2024). Yakın Resim Fotogrametri Yönteminin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımın Araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 23-30.

Geliş : 30.10.2023
Revize : 16.11.2023
Kabul : 12.06.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Tersine mühendislik teknolojisi, yüzey verilerini yakalayarak yeni veya mevcut ürünlerin CAD modellerinin oluşturulmasını sağlar. Tersine mühendislikte CAD kullanımıyla desteklenen fiziksel parçaların, montajın veya modellerin hızlı üç boyutlu (3B) imalatı gerekli olmaktadır ve bu imalata ise prototipleme denilmektedir. Tersine mühendislikte 3B modellerin kullanımı önemli bir aşama olmakla beraber 3B model üretimde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Fotogrametri geleneksel tersine mühendislik süreçlerinde iyi bir yöntem olarak kullanılır. Yersel fotogrametri yöntemi, üç boyutlu modelleme çalışmalarında son yıllarda başarıyla uygulanmaktadır. Özellikle endüstride ve mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Yersel fotogrametrinin, sayısal fotoğraflar kullanılarak üç boyutlu modelleme imkânı sağlaması ve elde edilen sonuç ürünlerin sayısal olması tersine mühendislik uygulamalarındaki kullanımını arttırmıştır. Bu çalışmada fotogrametri yönteminin seçilmesinin sebebi anında hızlı veri elde edip maliyetinin düşük olup kolay erişime imkânı sağlamasıdır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli tasarım, fotogrametri, tersine mühendislik.

Investigation of the Use of Close-range Photogrammetry Method in Reverse Engineering Applications

*Corresponding Author:
yarendgd1@gmail.com

Research Article

Citation: Doğdu, Y., Bakla, B. N. (2024). Investigation of the Use of Close-range Photogrammetry Method in Reverse Engineering Applications. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 6(1), 23-30 (in Turkish).

Received : 30.10.2023
Revised : 16.11.2023
Accepted : 12.06.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

Reverse engineering technology enables the creation of CAD models of new or existing products by capturing surface data. In reverse engineering, rapid three-dimensional (3D) manufacturing of physical parts, assemblies or models supported by the use of CAD is required, and this manufacturing is called prototyping. Although the use of 3D models in reverse engineering is an important step, various methods are applied in producing 3D models. Photogrammetry, one of these methods, is used as a good method in traditional reverse engineering processes. Terrestrial photogrammetry method has been successfully applied in three-dimensional modeling studies in recent years. It has had a wide usage area especially in industry and engineering applications. The fact that terrestrial photogrammetry provides three-dimensional modeling using digital photographs and the resulting digital products have increased its use in reverse engineering applications. The reason for choosing the photogrammetry method in this study is that it provides fast data instantly, low cost and easy access.

Keywords: Computer aided design (CAD), photogrammetry, reverse engineering.

1. Giriş

Fotoğraf üzerinden ölçüm, fotoğrafların analizi yoluyla nesnelerin boyutlarını veya özelliklerini ölçmek için kullanılan bir tekniktir [1]. Bu teknik, fotogrametri adı verilen bir bilim dalının alt dalıdır ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır [2]. Fotoğraf üzerinden ölçüm, uzun yıllardır kullanılan bir teknik olmasına rağmen, teknolojik gelişmelerle birlikte daha hassas ve doğru hale gelmiştir. Bu teknik, çeşitli araçlar ve yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir [3]. Fotoğraf üzerinden ölçüm için, öncelikle, fotoğrafın kalitesi ve çözünürlüğü önemlidir. Düşük çözünürlüklü bir fotoğraf, ölçümlerde hatalara neden olabilir [4]. Bu nedenle, yüksek çözünürlüklü fotoğraflar kullanılması önerilir [5]. Fotoğraf üzerinden ölçüm yapmak için kullanılan yöntemlerden biri, stereoskopik ölçümdür [6]. Bu yöntem, iki fotoğrafın birbirine yakın açılarla alınmasıyla gerçekleştirilir. İki fotoğraf bir stereoskopik cihazda bir araya getirilir ve üç boyutlu (3B) bir görüntü elde edilir. Bu görüntü üzerindeki karakteristik metrik özellikler ölçülebilir. Fotogrametri yönteminde, fotoğrafların analizi yoluyla 3B bir nesne modellemesi yapılır. Bu yöntem, havadan veya yerden alınan fotoğrafların sayısal olarak işlenmesiyle gerçekleştirilir. Fotoğraf üzerinden ölçüm teknikleri, inşaat, harita, jeoloji, arkeoloji ve diğer pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle fotogrametri yöntemi ile nesneye temas etmede doğru ve hassas ölçümler yaparak, daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek mümkündür [5].

Teknolojik gelişmeler, fotogrametri yöntemi üzerinde büyük etkilere sahip olmuştur ve bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmasına olanak tanımıştır. Bu gelişmeler arasında, Hareketten yapısal algılama (Structure from Motion/SfM) algoritması da yer almaktadır [7]. SfM algoritması, fotogrametri yöntemleri içinde son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Bu algoritma, bir dizi fotoğrafın analiz edilmesi yoluyla nesnelerin 3B modellerinin oluşturulmasını sağlar. Bu modeller, gerçek dünya nesnelerinin doğru bir şekilde ölçülmesine ve analiz edilmesine olanak tanır. SfM algoritması, diğer fotogrametri algoritmalarına göre birçok avantaja sahiptir [2, 3]. SfM algoritması, daha hızlı ve otomatik bir şekilde çalışır. Örneğin geleneksel fotogrametride, yönlentmelerin (iç ve dış yönlentme) manuel olarak yapılması gerektiği için daha yavaş ve zaman alıcıdır. SfM algoritması ise fotoğrafların otomatik olarak analiz edilmesi sayesinde daha hızlı çalışır. Ayrıca, SfM algoritması, daha fazla sayıda fotoğrafın optimum şekilde kullanılmasına olanak tanır. Bu sayede, daha ayrıntılı ve doğru modeller elde etmek mümkündür [4, 8]. SfM algoritması, geniş açılı ve çarpık görüntüleri de düzeltmek için kullanılabilir. Son olarak, SfM

algoritması, daha ucuz ve kolay kullanılabilir bir teknolojidir. Geleneksel fotogrametri için özel ekipmanlara ve yüksek maliyetlere ihtiyaç duyulurken, SfM algoritması basit bir dijital fotoğraf makinesi ve bir bilgisayar kullanılarak uygulanabilir [6, 7]. Sonuç olarak, teknolojik gelişmeler, SfM algoritması ile fotogrametri üzerinde büyük etkileri olmuştur. Bu etkiler sayesinde daha hızlı, daha doğru ve daha ucuz ölçümler yapılabilmekte ve bu yöntemler daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşabilmektedir.

Fotogrametri ve tersine mühendislik (TM) arasındaki ilişki, fotogrametri yoluyla elde edilen verilerin tersine mühendislikte kullanılmasıdır. Fotogrametri yöntemi ile, bir nesnenin veya sistemin 3B bir modelini oluşturulabildiği için elde edilen 3B dijital çıktılar farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Tersine mühendislik ise, bir nesnenin veya sistemdeki bir bileşenin nasıl çalıştığına veya nasıl yapıldığına dair bilgi edinmek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, tasarım belgeleri veya diğer verilerin olmadığı durumlarda kullanılır. Fotogrametri yöntemi ile bir nesnenin veya sistemin 3B modelini oluşturmak ve bu modellerin tersine mühendislikte kullanılabilmesi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, bir nesnenin parçaları eksik veya hasarlı ise, fotogrametri kullanılarak nesnenin 3B bir modeli oluşturulabilir. Bu model, eksik veya hasarlı parçaların yerini tespit etmek ve tamamlamak için tersine mühendislikte kullanılabilir. Benzer şekilde, bir makine veya sistemdeki bileşenlerin nasıl çalıştığına dair bilgi edinmek için TM kullanılabilir. Bu bileşenlerin 3B modelleri, fotogrametri yoluyla oluşturulabilir ve daha sonra analiz edilebilir. Fotogrametri, 3B model oluşturma için kullanılırken TM, bir nesnenin veya sistemdeki bir bileşenin nasıl çalıştığına dair bilgi edinmek için kullanılır.

Tersine mühendislik fiziksel modellerden geometrik modellerin oluşturulması, mevcut bir parçanın yeniden tasarlanması ve boyutlarının analizi için sistematik bir yaklaşımdır [8]. Tersine mühendislikte amaç, ortada hiçbir bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design/CAD) model yok iken, bir nesnenin gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere başarılı bir şekilde 3B CAD modelini oluşturmaktır [9, 10]. Tersine mühendislik uygulamaları ile koordinatları bilinen noktaların yardımıyla veya optik sistemler ile 3B tarayıcılar tarafından elde edilen nokta bulutundan, nesnenin sayısal verileri elde edilir [4, 9]. CAD, bilgisayar destekli üretim, bilgisayar destekli mühendislik ve diğer yazılım uygulamalarındaki gelişmelerle birlikte TM 3B sanal modellerinin yaratılması için kullanılabilir bir metot haline gelmiştir [11]. Tersine mühendislik, bir nesne veya onun bir parçası ile ilgili sayısal verilerin kısmen ya da tamamen eksik olduğu durumlarda tercih edilir. Heykeller, araç gövde

parçaları vb. nesnelerin üretiminde tercih edilen bir yöntemdir. Teknik çizim ile bu tarz nesnelerin geometrik özelliklerini ortaya çıkarmak ve 3B CAD modelini oluşturmak çok zor olmaktadır. Bu gibi durumlarda fotogrametri yöntemi ile üretilen dijital 3B modellerin TM uygulamaları tercih edilmektedir [4, 11].

Tersine mühendisliğin gelişmesindeki etkenler:

- Üreticinin bir parçayı uzun zamandır üretmemesi ve tekrar üretmek istemesi,
- Orijinal tasarımın yetersiz dokümantasyona sahip olması,
- Bir ürünün orijinal üreticisinin artık bulunmaması fakat müşterilerin bu ürüne ihtiyacı olması,
- Ürünün orijinal dokümantasyonunun kaybolması veya hiç var olmaması,
- Ürünün bazı kötü özelliklerinin yeniden tasarlanmasına ihtiyaç duyulması,
- Ürünün uzun süreli kullanımına dayanarak, ürüne ait özelliklerin güçlendirilmesi,
- Ürünün performansını ve özelliklerini geliştirmede sonuca götürecek yeni yolların keşfedilmesi şeklinde ifade edilebilir. Günümüzde, tersine mühendislik yeni ürünlerin üretilmesi ve eski ürünlerin yeni versiyonlarının tasarlanması için kullanılan bir uygulama yöntemi haline gelmiştir. Burada kullanılan "tersine" terimi sayısal ve fiziksel ortamlar arasında yapılan veri aktarımının çift yönlülüğünü ifade etmektedir [11].

Tersine mühendislik hızlı bir prototipleme ile gerçekleşir. Tersine mühendislikte hızlı prototip süreci, bilgisayarda hazırlanan 3B CAD çizimlerinden direkt fiziksel modeller elde etmemizi sağlayan imalat teknolojisidir. Prototipleme ile final ürününden önce ön sunum olarak nitelendirilebilecek ürünler tasarlanmaktadır. Bu süreçte tasarlanan ürünler daha sonra düzenlenerek nihai ürün ortaya çıkarılmaktadır. Prototipleme aşamasında kullanılacak 3B ürünün oluşturulmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. 3B modellerin prototipleme aşamasında kullanılmasıyla bu süreç daha kısa süre içerisinde gerçekleştirilir ve elde edilen prototipler hem görsel hem de fonksiyonel açıdan test edilebilirler. Olası tasarım değişikliklerinde bu prototipler üzerinden karar verilerek gerekli değişiklikler süratle uygulanır ve zamandan tasarruf edilir [12]. Böylece nihai ürünün modelleme süresi bir hayli kısaltılabilirken modelleme esnasındaki hatalar da en aza indirgenmiş olunur.

Dijital ortamda çizimi olan tüm tasarımların seri üretime geçme aşamasından önce prototiplerinin hazırlanıp, gerekli testlerden geçirilmesi gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle prototip hazırlama süreci hem maliyetli hem de oldukça zaman alıcı faaliyetleri kapsamaktadır. Oysa 3B yazıcılar

sayesinde istenilen prototipler saatler içerisinde üretilebilir. Elde edilen bu prototipler hem görsel olarak hem de fonksiyonlarını yerine getirebilmesi açısından test edilip rahatlıkla incelenebilirler. Değerlendirmeler sonucu yapılan tasarımda değişikliğe gidilebilir ve yeniden yapılan tasarımın prototipi üretilip incelenebilir. Bu da daha az maliyetle daha hızlı test edilebilir prototipler elde etmemize edilmesine imkân verir [13].

Tersine mühendislik, ürünün üretim süreçleri de dahil olmak üzere özelliklerinin ve ürünü oluşturan bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkisinin analiz edilmesidir [14]. Tersine mühendislik bir nesnenin kopyasını ya da fonksiyonel olarak yeniden konstrüksiyonunu yapmak için bir ölçme, analiz ve test süreci olarak tanımlanabilir [15, 16]. Bu yaklaşım bir ürünün yüzey verilerinin elde edilmesini, bu veriler ile CAD modelinin oluşturulmasını ve sonrasında imalatını kapsayan bir süreçtir [14-17].

2. Materyal ve Metot

Tersine mühendislik yönteminin süreci tündengelim metoduna göre uygulanmaktadır. Tersine mühendislik işlemlerinde ilk olarak belirlenen bir ürün fotogrametrik veri toplama tekniği ile veriler elde edilir. Elde edilen veriler, uygun yazılıma aktarılır. Ön inceleme ve hizalama işlemleri tamamlandıktan sonra 3B nokta bulutu daha sonrasında katı modeli elde edilir. Çalışmada yapılacak olan iş akışı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İş akışı

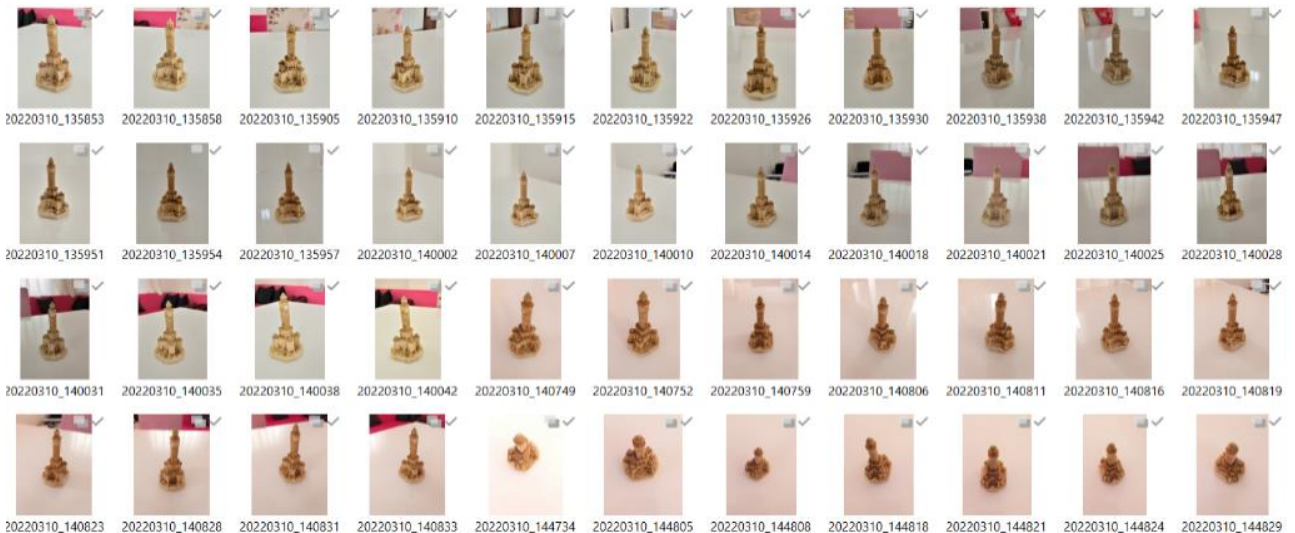
Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği olan ISPRS'nin (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tanımına göre fotogrametri: "fotoğrafik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır." Fotogrametrinin birçok tanımı yapmıştır. Kısa ve anlaşılır bir tanım yapmak gerekirse fotogrametri yöntemi; görüntü kalitesine bağlı olarak, bir nesnenin veya dünyanın bir

kısının hassas 3B bir modelini üretebilen yöntemdir [5, 6].

Fotogrametride, temel olarak fotoğraflar sürecin en önemli parçasıdır. Aktarılan yazılımda algoritmanın başarısı kaliteli fotoğraflara bağlıdır. Bu çalışmada 3B modeli oluşturmak için Agisoft Metashape yazılımı kullanılmıştır. Fotogrametrik değerlendirmenin yapılabilmesi için öncelikle fotoğraf çekiminin yapılması gerekmektedir. Fotoğraf çekimi için dikkat edilecek bazı hususlar vardır:

- En az iki noktadan görünen bölgelerin geometrisini yeniden oluşturduğu için kör bölgelerin minimum olması gereklidir.
- Yüksek çözünürlüklü bir sayısal kamera kullanılmalıdır. Çözünürlük işleme sonucunun kalitesini artırır.
- Deklanşör hızı çok yavaş olmamalıdır aksi takdirde hafif hareketlerden kaynaklı bulanıklık oluşabilir.
- Görüntü parazitini en aza indirmek için mümkün olan minimum ISO kullanılmalıdır.
- Işık seçiminin iyi olması kaliteli fotoğraf elde edilmesini sağlar.
- Küçük objelerde fotoğraf çerçevesine nesneyi tam yerleştirmeli, orta ve büyük objelerde fotoğraf çerçevesine nesneyi tam yerleştirmeye çalışılmamalı bazı kısımlar görünmüyorsa diğer fotoğraflarda görüntülenebilir.
- Arka plan: obje arka planda açıkça görülebilmelidir. Objenin renkleriyle zıt bir arka plan rengi seçilmelidir. Objenin rengi açıksa daha koyu bir arka plan seçilmelidir.

2.1. Materyal ve Uygulama Nesnesi



Şekil 4. Yazılıma Aktarılan Fotoğraflar

Uygulama nesnesi orta ölçekli biblo olarak belirlenmiştir. Objeler Şekil 3'te gösterilen Iphone 11 ve Oppo Reno 2Z telefonlarıyla çekilmiştir.

Fotogrametrik değerlendirme süreci Agisoft Metashape yazılımında gerçekleştirilmiştir. Agisoft Metashape yazılımı temel anlamda SfM tekniğini kullanmaktadır [18]. SfM tekniği, sıralı çekilmiş 2 boyutlu görüntülerden 3B model elde etmeyi sağlayan bir fotogrametri tekniğidir [19, 20]. SfM tekniği 3B modeli yapılacak olan objenin etrafında farklı kamera konumlarında alınan fotoğraflar ile belirli epipolar geometri [21, 22] koşullarını yerine getirerek objeye ait 3B görünümünün elde edilmesini sağlar.



Şekil 3. Iphone 11 (a), Oppo Reno 2z (b).

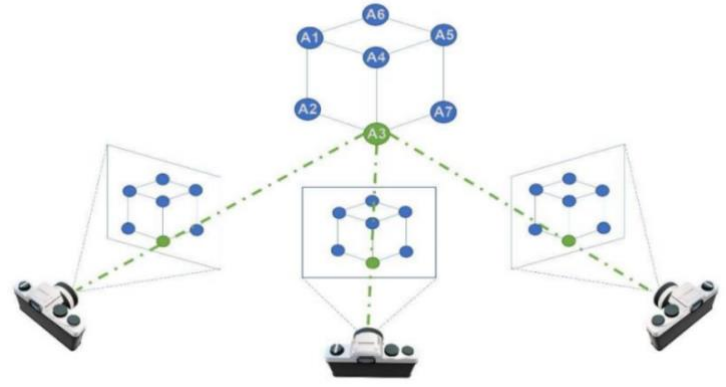
Çalışma kapsamında objeye ait 64 adet fotoğraf çekilmiştir. Orta ölçekli biblo modelimizin hassas bir şekilde bilgisayar ortamında modelini oluşturabilmek için parçanın en ince detayına kadar görüntüsünü almak gerekmektedir. Bu fotoğraflardan uygun olarak seçilen 44 adedi 3B model üretiminde kullanılmıştır. Fotoğraflar yazılıma aktarılmış ve eşleştirilmiştir (Şekil 4).

2.2. Yöntem

Fotogrametri, fiziksel cisimler ve oluşturdukları çevreden yansıyan ışınların şekillendirdiği görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjilerin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji, bilim ve sanat dalıdır [24-26]. Fotogrametri TM çalışmalarında 3B modellerin üretimi için sıklıkla tercih edilmektedir. Fotogrametrik araştırmalar genellikle 3B nokta bulutları ve 3B modeller elde etmeye odaklanmıştır [27, 28]. 3B modellerle belgeleme üretiminde yüksek doğruluk, düşük maliyet ve görece daha az zaman harcanan yöntemleri bulmaya çalışmak fotogrametrinin bir çalışma alanıdır.

Yakın mesafe fotogrametrisinde araştırmanın temel amacı, iki boyutlu görüntülerin ölçümü ve analizine dayalı olarak bir nesnenin geometrisini (şekil, boyut, konum) 3B uzayda belirlemektir [22]. Son yıllarda 3B modellerin birçok alanda ihtiyaç haline gelmesi, bilgisayar donanım ve yazılımlarının gelişmesi 3B bir nesnenin farklı açılardan çekilmiş çok sayıda görüntülerini kullanarak, nesneyi sayısal ortamda 3B olarak modelleyebilen bir fotogrametrik teknik olan SfM, 3B modelleme ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmaktadır [24-26]. SfM'in kavram olarak Türkçe'ye tam bir çevirisi olmamakla beraber 'Hareket Tabanlı Yapısal Algılama' anlamı karşılamaktadır. SfM, üst üste binen görüntüler arasındaki ilişkiyi belirleyen, özellik noktalarını tespit eden ve bu noktaları, kameranın görüntü alma anında konumunu ve yönünü belirlemek için kullanan bir bilgisayar görme tekniğidir. Devrim niteliğinde kabul edilen bu teknik, çeşitli ölçeklerde yüksek çözünürlüklü veri setleri elde etmek için düşük maliyetli, kullanıcı dostu olarak nitelendirilmektedir. Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber fotogrametri tekniğinin yanında SfM algoritması da operatörlere bu yöntemin kullanımında yeni bakış açıları sunmuştur [28].

Bu yöntemde SfM olarak bilinen ve nesnelere hareketli kayıtlarından 3B verilerin üretilebildiği yaklaşım son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. SfM; sıralı olarak çekilen iki boyutlu (2B) görüntülerden 3B modeli üretilmek istenen objenin ortak noktalarının tespit edilerek modeli oluşturmak için stereo görüntü tekniğini kullanan klasik bir fotogrametri yaklaşımıdır [29, 30]. Yöntem 3B modelleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem yüksek çözünürlüklü büyük veri setleriyle düşük maliyetli çalışma imkânı sağlamaktadır. Bu yöntem fotogrametrinin her alanında kullanıldığı gibi TM çalışmalarında da kullanılmaktadır [31, 32].



Şekil 9. SfM iş akışı [20].

3. Bulgular ve Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı fotoğraf çekme teknikleri ve kamera açıları kullanılarak model oluşturulmaya çalışılmıştır. Modelin görünen üst yüzeyi ile görünmeyen alt yüzeyini aynı yönde, aynı yükseklikte bindirilmeli olacak şekilde çekimi yapılmıştır [33]. Fotoğraflar arasında ortak noktaların olması modelin bütünlüğü için önemli olduğu fark edilmiştir. TM sürecinde klasik yöntemlerin yerini yeni yöntemler almıştır. Bu çalışmada, TM sürecinin imalat odaklı bir yapıya sahip olmasının ne şekilde mümkün olabileceği somutlaştırılmaya çalışılmıştır. TM tasarımcısının elindeki bilgileri daha kolay yönetmesi ve sonuca daha hızlı erişim sağlaması esas amaçtır. Bu kapsamda geliştirilen imalat için tasarım işlem modeli sunulmuş ve sürecin işleyişi ana detaylarıyla belirtilmeye çalışılmıştır. Ürün imalat yöntemini belirleyen tasarımcıdır. Bu nedenle imalat süreci, ürün tasarım ve geliştirme aşamasında gözetilmelidir. İmalat yöntemi ürünün maliyetini doğrudan etkilemektedir. Eğer tersine geometrik modelleme aşamasından başlayarak 3B modelden elde edilen bilgiler imalat bilgileri ile desteklenirse tasarımcı nihai ürünü geliştirirken daha etkili bir yol izleyebilir.

Yersel fotogrametri yöntemi tersine mühendislik uygulamalarında küçük objelerin 3B modellenmesiyle, tasarımı ve gerçek boyutlarında üretimi için başarıyla kullanılmaktadır. Günümüzde tersine mühendislik, birçok profesyonel alanda kullanılmaktadır, gerçek nesnelere sanal modeller elde etmek için farklı süreçler geliştirir. Çalışmada tarama hassasiyeti ve modelin çözünürlüğü kullanılan kameranın çözünürlüğü ile doğru orantılıdır. 3B tarama işlemlerinin her adımı bilgisayarlar aracılığı ile yapılmaktadır. 3B model verilerinin işlenmesi, bilgisayar işlemci ve hafızalarını zorlayan türden bir çalışmadır. Bu yüzden bu tip çalışmalarda kullanılacak bilgisayarların güncel teknoloji ile donatılması çalışmanın sağlıklı ve rahat yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca çalışmada uygulanan

yöntemler sayesinde, üretilecek modelin prototipini yapmak, modelin 3B sonuç ürünlerini oluşturmak gibi tüm adımlar bilgisayar ortamında yapıldığı için üretim zamanı oldukça kısaldı. Tüm bu işlemlerin neticesinde tasarım maliyeti azaltılarak ürünün optimum maliyet ile üretilebilmesi sağlandı.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 1-10.
- [2] Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2020). Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 60-71.
- [3] Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S., Oğuz, G. M., & Kanun, E. (2020). Sfm tekniği ile oluşturulan 3B modellerin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılması: Gözne Kalesi örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 22-27.
- [4] Hamal S N G, Ulvi A, Yiğit A Y, Yakar M, 2022. Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4): 2262 - 2275.
- [5] Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıcı, K., Kaya, Y., & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik rölöve çalışması ve 3boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- [6] Durgun, H., Çoban, H. O., & Eker, M. (2023). İnsansız Hava Aracıyla elde edilen hava fotoğraflarından kızılçam ağaçlarının çap ve boylarının ölçülmesi. *Journal of Forestry*, 23(4), 255-267.
- [7] Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Şenol, H. İ. (2023). Açık Maden Ocaklarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanımı. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 225-235.
- [8] Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., & Eroğlu, M. M. (2022). Nokta Bulutu Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 23-29.
- [9] Wang G, Zheng B, Li X, Houkes Z. (2002). Modeling and calibration of the laser beam scanning triangulation measurement system. *Robot Auton Syst.* 40, 267-277.
- [10] Şahin, İ., Şahin, T., Gökçe, H. ve Eren, O. (2017). Hasarlı Dişlilerin Tersine Mühendislik Yaklaşımıyla Yeniden Oluşturulması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2017), 485-495.
- [11] Çelik, D. (2015). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları (Yüksek Lisans Tezi) *Endüstriyel Tasarım Mühendisliği*, Karabük.
- [12] Chan VH, Bradley C, & Vickers GW. (2001). A multi-sensor approach to automating coordinate measuring machine-based reverse engineering. *Computers in Industry.* 44,105-115.
- [13] Liu, Z., Wang, L., & Lu, B. (2006). Integrating cross-sectional imaging based reverse engineering with rapid prototyping. *Computers in Industry*, 57(2), 131-140.
- [14] Işık, E., & Çelik, İ. (2021). Tersine Mühendislik Çalışmalarında Solidworks Scan To 3D Modülü Kullanarak Tarama Datasından Katı Model Oluşturulması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 606-615.
- [15] Çelik, İ., Işık, E., (2021). Tersine Mühendislik Çalışmalarında Solidworks Scan to 3D Modülü Kullanarak Tarama Datasından Katı Model Oluşturulması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 606-615.
- [16] Zhongwei, Y. (2004). Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping based on the properties of NURBS or B-spline. *Precision Engineering*, 28(3), 293-301.
- [17] Zexiao, X., Jianguo, W., & Qiumei, Z. (2005). Complete 3D measurement in reverse engineering using a multi-probe system. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(12-13), 1474-1486.
- [18] 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.
- [19] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital İkiz Oluşturmada Nokta Bulutlarına Dayalı Analiz. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 318-329.

- [20] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1372-1384.
- [21] Kaya, Y., & Temel, D. (2022). Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17-22.
- [22] 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.
- [23] Işık, E. (2020). 3D CAD yazılımları kullanarak üç boyutlu tarama verisi ile tersine mühendislik uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- [24] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi eserlerin 3B modellenmesi ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.
- [25] 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.
- [26] Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- [27] Yenigun, I., Bilgili, A. V., Senol, H. I., & Yenigun, A. (2023). Investigation of the relationship of groundwater quality and irrigation: the case of Mardin Kiziltepe Plain (Mesopotamia) in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 490.
- [28] Şenol, H. İ., & Orman, E. (2022). Diyarbakır Mardin Kapı'nın yersel fotogrametri yöntemiyle 3B belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1-6.
- [29] Villi, O., Villi, Ö., & Yakar, M. (2023). 3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 72-88.
- [30] Bıyık, M. E., & Yakar, M. (2023). Use of photogrammetry in criminology. *Intercontinental Geoinformation Days*, 7, 201-204.
- [31] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi. *Türkiye LİDAR Dergisi*, 2(1), 1-4.
- [32] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17-21.
- [33] Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Karlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36.



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>