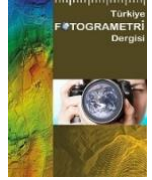




## Türkiye Fotogrametri Dergisi

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

e-ISSN 2687-6590



# Yakın Resim Fotogrametri Yönteminin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımın Araştırılması

Yaren Doğdu <sup>1\*</sup>, Büşra Nur Bakla <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (yarendgd1@gmail.com)

<sup>2</sup> 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, yönlendirmelerin (iç ve dış yönlendime) 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

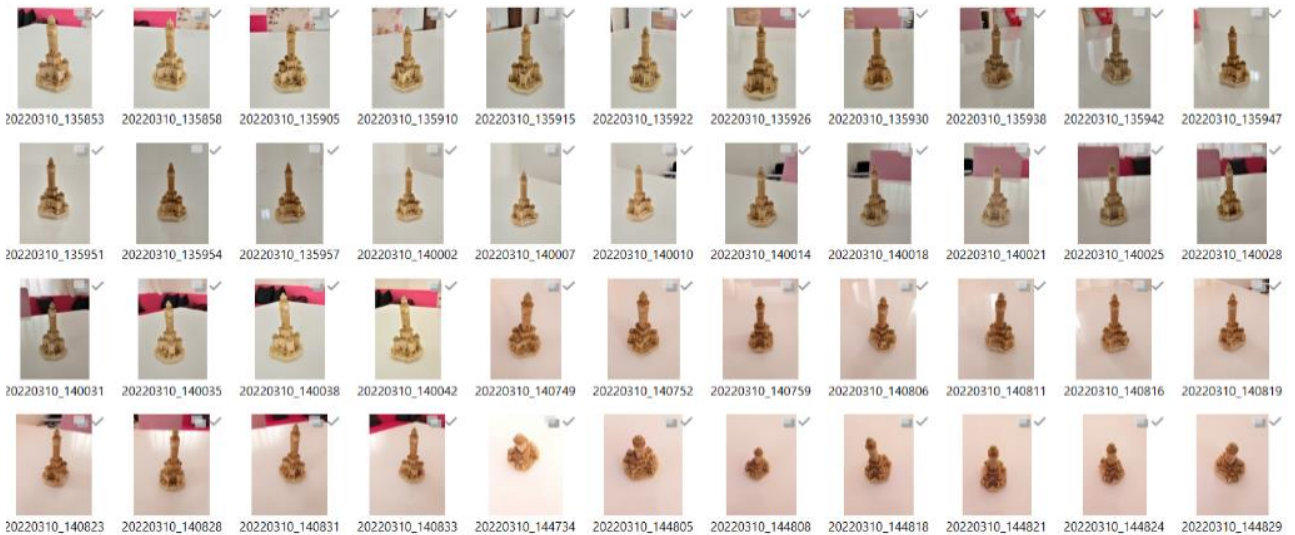
Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği olan ISPRS'nin (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tanımına göre fotogrametri: "fotoğrafik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri 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).

Fotoğraf çekme işleminde ilk görüntü alındıktan sonra parça yaklaşık 15-20 derece döndürülerek bir sonraki görüntü alınmıştır. Alınan görüntüler bilgisayar ortamında eşleştirilerek tek görüntü elde edilmiştir. Bu işlem başlangıç noktasına gelene kadar her alınan görüntü elde edilen birleştirilmiş görüntü ile örtüştürülerek işleme devam edilmiştir. Fotoğraf çekme işleminde fotogrametrik değerlendirmenin doğruluğu açısından konvergent olarak çekilmiş bindirmeli fotoğraflar Şekil 5'te gösterilmiştir. Eşleştirilen fotoğraflardan yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Her noktada, 3 boyutlu uzayda konumunu belirten bir x, y ve z koordinatına sahiptir (Şekil 6).



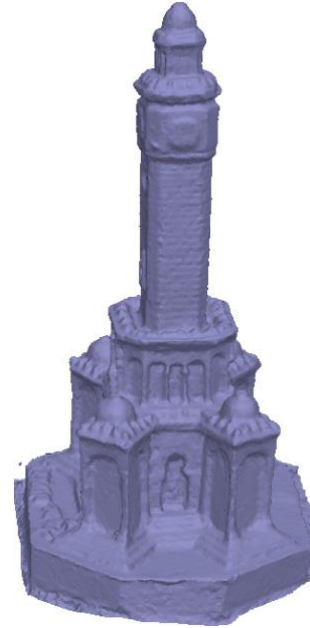
Şekil 5. Fotoğrafların Çekim Yönü



Şekil 6. Nokta Bulutu Verisi

Belirli bir nesne için, TM sistemi nesnenin niteliğine ve TM sisteminin türüne bağlı olarak binlerce nokta verisi toplar. Toplanan bu noktalar, nokta bulutu olarak adlandırılır. Çoğu uygulamada nokta bulutu, nesnenin yeterli bir açıklamasıdır. Ancak parçanın katı modelini elde etmek için TM uygulamaları ile nokta bulutları üzerine uygun yüzeyler geçirilir. Böylece fiziksel parçaya ait 3B CAD verisi elde edilmiş olur. İstenen ana mesh obje

etrafında tarama kaynaklı ya da tarama ortamı kaynaklı gereksiz veriler silinir. Mesh yapının yüzeyi pürüzsüzleştirilir. Tersine mühendislik modülleri içerisindeki eğri oluşturma modülüyle mesh yapının sınırları belirlenir [23]. Bu nokta bulutundan katı (mesh) model üretilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Katı (Mesh) Model

Orta ölçekli objeye ilişkin 3B modelin oluşturulması için dijital telefon kamerasıyla elde edilen görüntüler Agisoft Metashape yazılımında 3B olarak değerlendirilmiş ve araba objesine ait 3B model elde edilmiştir (Şekil 8).



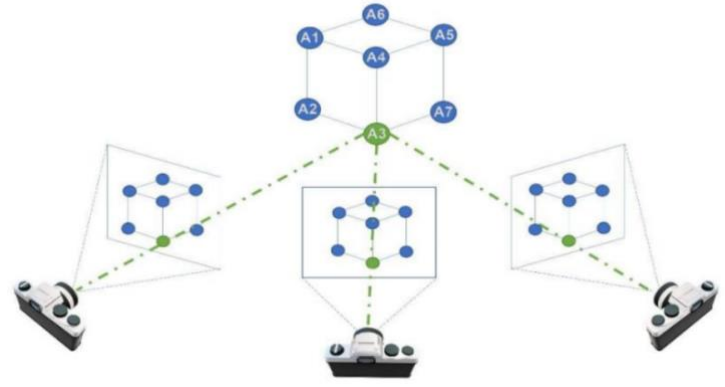
Şekil 8. CAD yazılımına aktarılmak üzere üretilen Tiled Model

## 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 belirtmeye 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/>