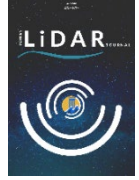




Türkiye LiDAR Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Kullanılan Teknikler

Zekeriya Kaçarlar ^{1*}

^{1*} Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, 33343, Mersin, Türkiye;
(zekeriyakarlar@gmail.com)



*Sorumlu Yazar:
zekeriyakarlar@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kaçarlar, Z. (2023). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Kullanılan Teknikler. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 5(1), 08-16.

Geliş : 18.05.2023
Revize 1 : 07.06.2023
Revize 2 : 09.06.2023
Kabul : 14.06.2023
Yayınlama : 30.06.2023

Özet

Kültürel miras eserlerinin 3B sayısallaştırılması, tarihi koruma amaçları için oldukça önemlidir. Bunu yapmak, turizmden kaynaklanan zararlar, doğal afetler ve savaş gibi olaylara karşı önlemeye yardımcı olabilir. Ayrıca, dünyanın dört bir yanındaki tüm disiplinlerden araştırmacıların bu eserleri incelemesi için üç boyutlu verilere erişim sağlar. Bu araştırmacılar, kırılған orijinal eserleri onlara zarar verme potansiyeline maruz bırakmadan aynı objeyi eş zamanlı olarak inceleyebilirler. Ayrıca, gelecekteki kullanıcılar açısından, eğitim ve inceleme amaçlı çevrimiçi bir arkeolojik eserler veri tabanından yararlanabilir. Bunun dışında, ortaya çıkan 3b görüntüler video oyunu geliştirme, 3b animasyonlar ve sanal gerçeklik gibi eğlence amaçlı olarak da kullanılabilir. Kültürel miras eserlerinden küçük objelerin 3b modellenmesi diğer eserlere göre farklı gereksinimler ve yöntemler içermektedir. Bu makalede küçük objelerin modellenme yöntemleri incelenmiş ve sonuçlar hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yersel fotogrametri, küçük obje modellemesi, yersel lazer tarama, el tipi lazer tarama.

Techniques Used in 3D Modeling of Small Objects

*Corresponding Author:
zekeriyakarlar@gmail.com

Research Article

Citation: Kaçarlar, Z. (2023). Techniques used in 3D modeling of small objects. *Turkish Journal of LiDAR*, 5(1), 08-16 (in Turkish).

Received : 18.05.2023
Revised 1 : 07.06.2023
Revised 2 : 09.06.2023
Accepted : 14.06.2023
Published : 30.06.2023

Abstract

3D digitization of cultural heritage artifacts is very important for historic preservation purposes. Doing so can help prevent damage from tourism, such as natural disasters and war. It also provides access to three-dimensional data for researchers from all disciplines around the world to examine these artifacts. These researchers can simultaneously examine the same object without exposing fragile original artifacts to the potential for harm. In addition, future users can benefit from an online database of archaeological artifacts for educational and review purposes. Apart from that, the resulting 3D images can also be used for entertainment purposes such as video game development, 3D animations and virtual reality. 3D modeling of small objects from cultural heritage artifacts includes different requirements and methods compared to other artifacts. In this article, the modeling methods of small objects are examined and inferences are made about the results.

Keywords: Terrestrial photogrammetry, small object modeling, terrestrial laser scanning, handheld mobil laser scanner.

1. Giriş

Kültürel miras eserlerinin 3 boyutlu sayısallaştırılması, tarihi koruma amaçları için oldukça önemlidir. Bunu yapmak, turizmden kaynaklanan zararlar, doğal afetler ve savaş gibi olaylara karşı önlemeye yardımcı olabilir (Kanun vd., 2021; Alptekin & Yakar, 2021). Ayrıca, dünyanın dört bir yanındaki tüm disiplinlerden araştırmacıların bu eserleri incelemesi için üç boyutlu verilere erişim sağlar. Bu araştırmacılar, kırılğan orijinal eserleri onlara zarar verme potansiyeline maruz bırakmadan aynı objeyi eş zamanlı olarak inceleyebilirler. Ayrıca, gelecekteki kullanıcılar açısından, eğitim ve inceleme amaçlı çevrimiçi bir arkeolojik eserler veri tabanından yararlanabilir. Bunun dışında, ortaya çıkan 3b görüntüler video oyunu geliştirme, 3b animasyonlar ve sanal gerçeklik gibi alanlarda da kullanılabilir (Karabacak & Yakar, 2022; Karataş vd., 2022a).

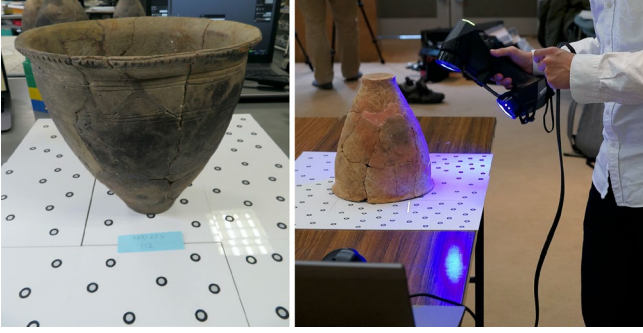
Tarihi eserlerde zaman içerisinde meydana gelen doğal ya da yapay yollarla ortaya çıkan tahribatları restorasyonu ve gelecek nesillere aktarılmasının en güncel ve doğruluğu yüksek yapılmasının yolu işe belgeleme çalışmalarından başlanmasıdır. Bundan dolayı tarihi eserlerin belgelenmesi amacına göre yapılacak olan çalışmalar için ilk aşamadır (Alptekin & Yakar, 2020; Ulvi vd., 2020). Mevcut kültürel miras eserlerinden küçük objelerin modellenmesi kendi içinde değerlendirilmesi gereken bir konudur (Karataş vd., 2022a; Karabacak & Yakar, 2023). Uygulanan teknikler bu tekniklerin avantajları ve dezavantajları diğer eserlerden farklı olarak ele alınıp değerlendirilmelidir. Bunun nedeni, küçük arkeolojik eserleri 3b sayısallaştırırken, doku ayrıntılarını yakalamak ve renk bilgilerini doğru şekilde korumak gerekmektedir. Ayrıntılı dokulara sahip olmak için yüksek çözünürlük önemlidir (Alvarez, 2021). Günümüzde teknolojik gelişmelerin etkisi ile miras eserlerinin hem yapısal hem de sayısal olarak korunması için tüm kurallar ve özelliklerin kayıt altına alınması gerekir (Ulvi vd., 2014; Yakar vd., 2015; Yakar vd., 2016). Kültürel mirasın korunması ve yaşatılması için geliştirilen tekniklerden yaygın olarak kullanılan biri yersel fotogrametri tekniğidir. Yerse fotogrametri tekniği sayesinde jeodezik ölçümler yapılabilen ve çekilen resimler sayesinde 3b model oluşturulabilmektedir (Pulat vd., 2022)

Fotogrametrik ve mesafe ölçme tabanlı ölçme sistemleri gerçek obje geometrisinin belirlenmesinin yanı sıra objenin coğrafi referansı ile modellenmesi imkânı da sağlamaktadır (Akin & Erdoğan, 2022). Günümüzde birçok alanda uzaktan algılama ve fotogrametri teknikleri ile üretilen veriler kullanılmaktadır (Erdogan & Mutluoglu, 2020). Kültürel mirasın içerisinde yer alan küçük objelerin modellenmesinde geçmişte yapılan uygulamalar ve

sonuçları göz önüne alındığında en yaygın kullanılan yöntemler fotogrametrik çalışma olan yersel fotogrametri, lazer taramanın bir çeşidi olan yersel lazer tarama olarak değerlendirilmektedir (Yakar vd., 2008; Yılmaz vd., 2008; Yılmaz & Yakar, 2006a). Teknolojinin gelişmesiyle, kültürel miras eserlerinin 3b verilerini elde etmek için yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. 3b lazer tarayıcılar, lazer ışınlarında yararlanarak, zaman ve mesafeyi ölçerek yüzeylerden çok sayıda nokta elde eder (Bohler & Marbs, 2004). 3b lazer tarayıcılar kullanılarak toplanan nokta bulutları, 3b model üretmek için kullanılmaktadır. Kısa sürede çok sayıda nokta bulutu toplama yeteneği, lazer tarayıcıları mimari uygulayıcılar için uygun bir seçenek haline getirdi (Huber vd., 2010). Kültürel mirasın içerisinde yer alan küçük objelerin modellenmesinde son dönemlerde lazer tarama sistemlerinden olan yersel lazer tarama sistemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Yersel lazer tarayıcılar, son dönemlerde jeodezik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz & Yakar, 2006b; Yılmaz vd., 2010). Hızla gelişen teknolojik gelişmelerden dolayı piyasaya sürekli olarak özel tarayıcılar girmektedir (Pejić vd., 2014). Bu özel yersel lazer tarayıcıların bir türü, el tipi lazer tarayıcılarıdır. Adından da anlaşılacağı gibi, cihazlar elde taşınır ve bu nedenle daha küçüktür ve normal üç ayak monteli lazer tarayıcılardan önemli ölçüde daha düşük bir ağırlığa sahiptir. El tipi lazer tarayıcılar, öncelikle, standart üç ayaklı monteli lazer tarayıcının taramada güçlük çektiği alanlarda nokta bulutları ve daha küçük nesnelere oluşturmak için tasarlanmıştır. Kaneda vd. (2022) yaptıkları çalışmalarında tarihi eser niteliği taşıyan ve küçük obje olan kavanozu dönel platform sayesinde otomatik bir sistem olan yersel fotogrametri tekniğini kullanarak modellemişlerdir. Bu modeli oluştururken sfm algoritmasını kullanmışlardır. Oluşturulan modeli daha sonra yersel lazer tarama tekniğini de kullanarak modellemişlerdir. İki modeli birbiri ile karşılaştırmışlar ve modellerin birbirine çok benzediği sonucuna varmışlardır. Bunun sonucunda yapılan yapılan yöntemlerin benzer nesnelere modellenmesinde doğruluğu yüksek olarak kullanılacağı belirtilmiştir.

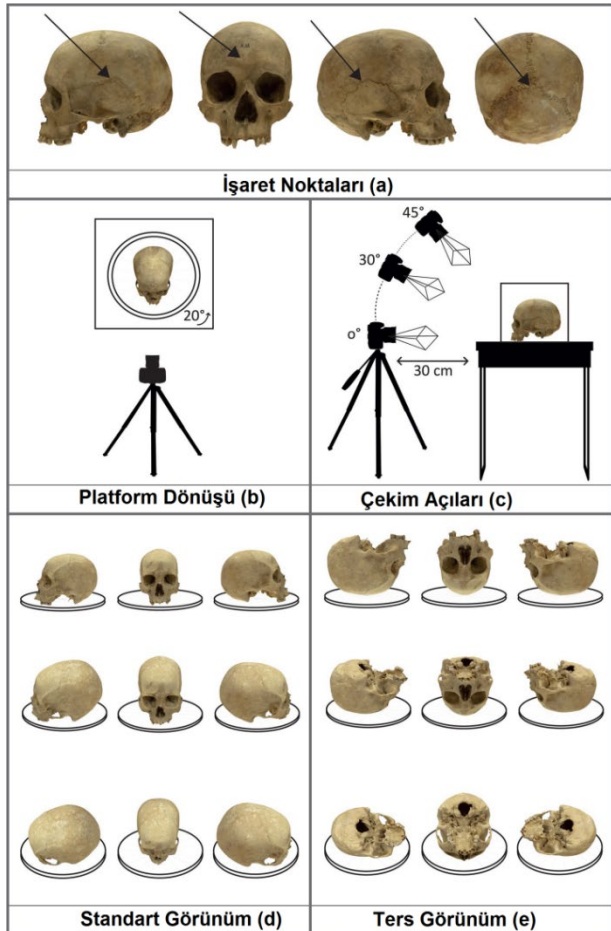


Şekil 1. Kavanozun dönel platform yardımı ile yersel fotogrametri tekniğine göre modellenmesi (Kaneda vd., 2022).



Şekil 2. Kavanozun Creafrom HandySCAN BLACK lazer tarama ile modellenmesi (Kaneda vd., 2022).

Lauria vd. (2022) çalışmalarında yersel fotogrametri tekniğini kullanarak insan kafatasını modellemişlerdir. Tek kamera kullanılmış ve sfm algoritmasından yararlanılmıştır. Bu yöntem ucuz, kolay taşınabilir, hızlı ve basit bir yöntem olduğu için tercih edilmiştir. Fotoğrafların doğru bir şekilde hizalanması ve modelin oluşturulması için uygun bir sahne oluşturulmuştur. Sahnede 4 adet işaret noktasında yararlanılmıştır. İki set halinde 54 adet fotoğraf çekilmiş ve Agisoft Metashape yazılımıyla kafatasının tamamı modellenmiştir. Oluşturulan modellerin doğruluğu yüksek modeller olduğu ve gelecek çalışmalar açısından örnek bir çalışma olacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Yersel fotogrametri sistemi ile modellenecek objenin tasarımı (Lauria vd., 2022).

Kersten vd. (2009) çalışmalarında, Paskalya Adası'nda bulunan ve UNESCO tarafından 1995 yılında korumaya alınan 3 adet volkanik heykeli yersel lazer tarama tekniğiyle taramışlar ve dijital belgelerini oluşturmuşlardır. Lazer tarama sistemleri olarak Trimble GX (2007), Trimble Zoller & Fröhlich (2008) GS101 ve IMAGER 5006 sistemlerini kullanmışlardır. Referans noktaları belirlenmiş ve yeterince nokta bulutu üretilerek tarama gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak her iki lazer tarayıcı ile yapılan taramalar değerlendirilmiş ve sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Yersel lazer tarama sistemi Z+F IMAGER 5006 ile taranan yoğunluk değerlerine sahip nokta bulutunun gösterimi (Kersten vd., 2009).

Standart lazer tarayıcılar aynı alanı taramak için birkaç noktaya kurulum yapılarak tarama yapması gerekeğinden daha büyük alanların taranmasını kolaylaştırmak için el tipi lazer tarayıcıların olması önemlidir. Fakat, el tipi lazer tarayıcıların çoğu nesne/ayrıntı taraması için tasarlanmıştır. Mevcut durumda el tipi lazer tarayıcı, yersel lazer taramanın tamamlayıcısı olarak düşünülebilir, bununla beraber değişen teknolojik gelişmelerle, el tipi lazer tarayıcılar uzun vadede geleneksel yersel lazer tarama teknolojisine meydan okuyabilir (James & Quinton, 2014). Bu nedenle, aracın avantaj/dezavantajlarının ve kısıtlamaların farkında olmak gerekmektedir. Eldeki teknolojinin kullanılabilmesi için ölçüm hataları tespit edilmeli ve belirlenen ölçüm hataları üreticinin belirttiği değerlere uyup uymadığı kontrol edilmelidir (Boehler vd., 2003).

El tipi lazer tarayıcılar yeni teknoloji olduğundan tarayıcılarla ilgili literatür o kadar geniş değildir. Yapılan ölçümlerdeki hatalar daha önce değerlendirilmemiştir. Ölçüm hata kontrolü tam anlamıyla geliştirilmemiştir. Bu durum el tipi lazer tarayıcının en büyük dezavantajı olarak düşünülebilir. Ölçüm hataları ve diğer önemli parametreleri bilinen bir cihaz tarafından elde edilen nokta bulutları ile karşılaştırılarak doğruluğu ve kullanılabilirliği tespit edilmelidir.

Zagorchev & Goshtasby (2006) el tipi lazer tarama ile bir tarama gerçekleştirmiştir. Taramada boyutları nesnenin boyutlarına göre tanımlanan metal bir çerçeve kullanmıştır (Şekil 2). Tarayıcı, tarama kafasında sabit bir kamera bulunan bir üçgenleme yöntemi ile gerçekleşmiştir. Ölçümde kullanılan teknoloji ile tarayıcıyı serbest hareket edebilmiş ve ölçüm belirsizliğini 1 mm'nin altına çekmek mümkün olmuştur. Küçük nesnelere taramak için bir lazer çizgi projektörü ve bir web kamerası ile kullanılmıştır. Ancak yapılan taramanın kapsamı çok sınırlıydı. Ayrıca tarayıcı kameralarla birlikte ağırlaştığından ve bundan dolayı daha uzun süre tarama yapmak mümkün olmamıştır. Bu nedenle, tarayıcının ağırlığı saha çalışmasında büyük önem taşır ve kullanım kolaylığını değerlendirirken önemli bir faktördür.



Şekil 5. Fiziksel çerçeveli 3B tarayıcı (Zagorchev & Goshtasby 2006).

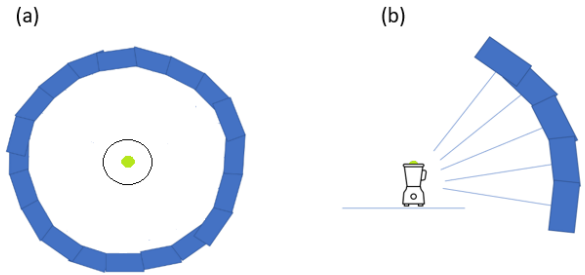
Fotoğrafları kullanmak, 3b model oluşturmak için alternatif bir seçenektir. Fotogrametri, 2 boyutlu fotoğrafları ölçerek ve analiz ederek objelerin 3 boyutlu geometrisine dönüştüren bir yaklaşımdır. Yakın mesafe fotogrametrisi, endüstri, biyomekanik, kimya, biyoloji, arkeoloji, mimarlık, otomotiv ve uzay mühendisliği ve kaza rekonstrüksiyonu gibi farklı alanlarda kullanılmıştır (Jiang vd., 2008). Fotogrametri, lazer tarayıcılara göre düşük maliyetli bir teknolojidir ve taşınabilirliği onu daha uygun hale getirir (Sabry vd., 2003).

Fotogrametri ile bir nesnenin 3b modelini oluşturmak için önce bir dijital kamera kullanılarak birkaç görüntü alınır. Görüntüler, yaklaşık %60'lık bir örtüşme ile nesnenin etrafından alınır. Bindirme, hem tüm nesnenin belgelenmesini sağlamak için hem de 3b modeli oluşturmak için kullanılan yazılımın görüntüleri birleştirirken bitişik noktaları daha kolay bulabilmesi için kullanılır (Mikhail vd., 2001).

Yersel fotogrametri ile modelleme işlemi yaparken dijital kamera, ışık kaynağı ve dönel bir platforma ihtiyaç duyulmaktadır. Dönel platform sayesinde obje 360° sabit bir şekilde dönerek her açıdan fotoğrafı çekilebilmektedir. Gerekli ışıklandırma sağlanarak

objeye gölge oluşumu engellenmelidir. Kamera objeyi her açıdan fotoğraflayacak şekilde konumlanmalıdır.

Resimler bindirmeli olarak çekilmektedir (Şekil 3); burada şekil 1, görüntülerin nesne etrafında nasıl çekildiğini yukarıdan ve şekil 2, nesnenin nasıl olduğunu yandan fotoğraflayarak göstermektedir.



Şekil 6 . a. Bindirmeli Resimler b. Objenin yandan görüntüsü (Persson, 2020).

Fotogrametri ile en iyi sonuçlar için aşağıdaki faktörler karşılanmalıdır:

- Nesneyi gözlemek için birkaç farklı yükseklik açısından resimler çekilmelidir.
- Kameranın odak uzaklığı, odak ve diyafram için sabit ayarları olmalıdır.
- Kamera hareketsiz olmalıdır. Titreşim ve dengesizlikten mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- Görüntülerdeki geometrileri bozabilecekleri ve yazılımın görüntüleri bir 3b modelde birleştirememesine neden olabileceği için geniş açılı lenslerden kaçınılır. Bunun nedeni, yazılımın hangi görüntülerin birbirine ait olduğunu bulmak için eş doğrusal olan (birbiriyle aynı çizgi üzerinde) noktalar bulması (Persson, 2020).

Çekim yaparken, kamera yada objeden hangisinin döndüğünün önemi yoktur. Önemli olan nesnenin çekim sırasında şeklini aynı şekilde korumasıdır.

Nesneler üzerindeki düz, yuvarlak ve pürüzsüz yüzeylerin fotogrametri kullanılarak belgelenmesi zordur, çünkü tüm noktalar aynı çizgi üzerindeymiş gibi görüldüğünde program nesnenin ne kadar büyük olduğunu algılamakta zorlanabilir. Bu, programın kendisini nesne üzerinde olduğu yere yönlendirmeyi zor bulduğu anlamına gelir. Bu bazen daha fazla fotoğraf çekilerek ve daha fazla sayıda farklı açıdan çekilerek giderilebilir (Lichti & Maas, 2008).

Porter vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada eski çağlara ait olan kültürel miras eserlerini modellemek için düşük bütçeli yersel fotogrametrik bir sistem geliştirmişlerdir. Oluşturdukları sistem sayesinde fotoğraf çekimini kolaylaştırmış ve eserleri her açıdan fotoğraflamışlardır. Sistematik, hassas fotoğrafçılık ve kullanılan tekniklerin kombinasyonu sayesinde, son derece ayrıntılı 3D modelleri güvenilir bir şekilde üretilmiştir.

Bucchi vd. (2020), yapmış oldukları çalışmalarında yakın mesafe fotogrametrisini kullanarak karmaşık geometriye sahip 780 şempanze ve goril kemiğini 3b olarak modellemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında dijital kamera, çekim çadırı, tripod, ışık sistemi ve dönel tabla kullanmışlardır. Oluşan modeller nispeten küçük, opak nesnelere kullanılarak yakın mesafeli fotogrametride iyi fotoğraflar çekmeyi kolaylaştıracak basit, etkili kriterler açıklanmıştır. Parlak ve saydamlığı zor olan birkaç istisna dışında, oluşturulan 3b modeller yüksek kalitededir ve bilimsel amaçlara uygundur.



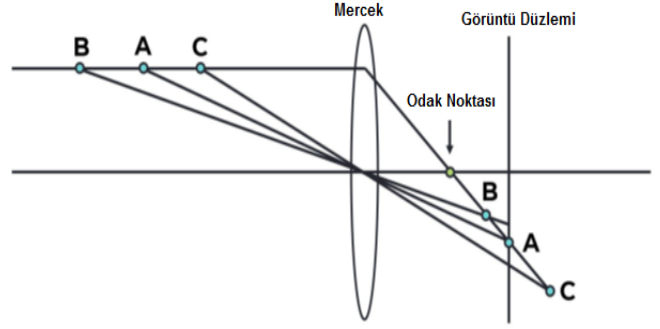
Şekil 7. Modeli oluşturulan bazı goril ve şempanze kemikleri (Bucchi vd., 2020).

2. Materyel ve Yöntem

Kültürel miras eserlerinden küçük objelerin modellenmesinde kullanılan materyaller seçilen yöntemle göre belirlenmektedir. Kullanılan teknikler daha çok yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniğidir.

Yersel fotogrametri, yer merkezli olarak çekilmiş fotoğraflarla yapılan fotogrametridir. Yersel fotogrametri tekniği yıllardır başta arkeolojik çalışmalar ve tarihi eserlerin belgelenmesi olmak üzere farklı amaçlar doğrultusunda sıkça kullanılmaktadır. (Şenol vd., 2021).

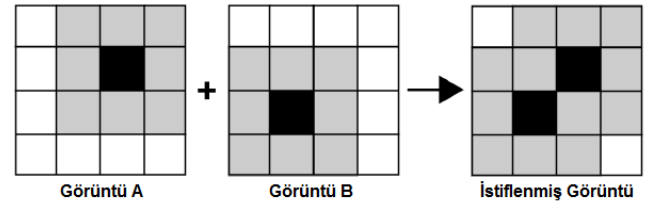
Yersel fotogrametri odak istifleme tekniğine bağlı olarak modelleme işlemi yapar. Odak istifleme şu şekilde çalışır. Nesnenin farklı odak uzaklığından fotoğrafları çekilir. Çekilen bu fotoğraflar objenin tüm detaylarının görülebildiği yüksek çözünürlüklü bir görüntü oluşturmak için bir araya getirilir. Aynı sahneden çekilmiş farklı odak uzaklığındaki fotoğraflardan gelen tamamlayıcı bilgiler yeni bir odaklanmış görüntü elde etmek için birleştirilir. Bu birleştirilmiş görüntü, orijinal fotoğraflardan en iyi ve ilgili tüm bilgileri içerir. Bunu yaparak, birleştirilmiş görüntü, tüm orijinal fotoğraflara kıyasla daha yüksek kalitede olur (Alvarez, 2021).



Şekil 8. Fotograf oluşumunu gösteren geometrik optik çizim (Alvarez 2021).

Nesnenin A noktası odakta olurken, B ve C noktaları bu noktalarında odakta olmayacaktır.

Odak istifleme tekniği genellikle, piksel tabanlı veya bölge tabanlı yığınlama yöntemleri kullanır. Nesnenin her fotoğraftaki büyütme oranı, nesnenin başka bir bölümünün odakta olduğu bir fotoğraf çekmek için kamera hareket ettirildiğinden veya odak uzaklığı değiştirildiğinden değişir. Bu nedenle, farklı odakta görüntüler birleştirilirken bu görüntülerin ölçeklenmesi ve hizalanması gerekir. Şekil 6'da, iki fotoğrafı bir yüksek kaliteli görüntüye odaklama işleminin basitleştirilmiş bir gösterimi gösterilmektedir (Alvarez, 2021).



Şekil 9. Odak istifleme yapılmış görüntülerin basitleştirilmiş bir gösterimi burada gösterilmektedir. Görüntülerin gri ve siyah alanı, yüksek çözünürlüklü odak istifli görüntü oluşturmak için kullanılacak en iyi bilgiyi temsil etmektedir (Alvarez, 2021).

Yersel fotogrametri tekniğinin önemli bir zayıflığı, kamera parametrelerini yapılandırabilen ve fotoğrafları doğru bir şekilde elde edebilen uzman bir kamera operatörüne bağımlı olmasıdır. Görüntüler doğru bir şekilde elde edilmezse, sonraki 3b model oluşumu, önemli ölçüde yapım hatalarının varlığından etkilenecektir (Rodríguez-Martín & Rodríguez-González, 2020). 3B model oluşumunda sistemlerin otomatikleşmesi bu hataları en aza indirmektedir. Deneyimli operatörler ve otomatik sistemlerden elde edilen modeller daha hassas ve doğru bilgiler içermektedir. Bu nedenle, fotogrametri yazılımında uygulanacak en uygun veri setini oluşturmak için görüntü alımını otomatikleştirmek istenir.

3B Fotogrametri yazılımını kullanan farklı uygulamalar mevcuttur. 3b Fotogrametrik yazılımlar, uzak mesafeden elde edilen görüntüyü kullanan fotogrametri ve yakın mesafeden elde edilen görüntüyü kullanan fotogrametri için mevcuttur. Uzak mesafeden görüntü elde eden fotogrametri denilince akla gelen ilk örnek, havadan 3b fotogrametri gelmektedir. Yakın mesafeden görüntüyü elde eden 3b fotogrametri örneği, küçük objelerin modellenmesinde uygulanan 3b fotogrametridir. Yazılımlar her bir fotogrametrik çalışma için ayrı ayrı olmuş olsa da ortak çalışmalarda da kullanılan yazılımlar mevcuttur. Yazılımların birbirine göre güçlü ve zayıf yönleri olmakla beraber, piyasada bazıları popüler ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan popüler olan ve piyasada aktif olarak kullanılanlarından biri Agisoft Metashape'dir. Agisoft Metashape, yazılımsal kalitesiyle, veri işleme süresinin kısa olmasıyla, kolay kullanımıyla ve veri karmaşıklığını azaltmasından dolayı kullanıcılar tarafından fazlasıyla tercih edilen bir yazılımdır (Zeybek & Biçici, 2021).

Agisoft Metashape yazılımında, küçük objelerin 3b görüntüsünün oluşmasında daha iyi sonuçlar elde etmek için yapılması gerekenleri şu şekilde söyleyebiliriz.

- Dokusuz, yansımaların çok olduğu ve şeffah nesnelere uzak durulması gerekir. Taranan yüzey, renk düzensizliği veya doku deseninin karmaşıklığı gibi herhangi bir ayırt edilebilir özelliğe sahip değilse, veri seti, yeniden oluşturma prosedürleri için güvenilir bilgilerden elde edilemeyecektir.

- Kamera sensörünün hassasiyeti, görüntü parazitini en aza indirmek için mümkün olan en düşük hassasiyette kullanılması önerilir.

- Fotoğrafları işlerken maskeleye kullanılması gerekir ve önemi şu şekildedir:

- Model için doku oluştururken gölge oluşumunun önlenmesine yardımcı olur.

- Yalnızca yararlı verileri işleyerek donanımsal kaynakları verimli kullanır.

- İşleme algoritmaları aykırı değerleri filtrelerken veya ilgili sahnenin ağ modelini yeniden oluşturmak için sınırlı sayıda çokgen kullanırken önemli olan kullanılabilir veri aralığıyla çalışmasına izin verir.

- Kamera hareketinin kontrol edilmesi, hareketten kaynaklanan bulanıklığın önlenmesine yardımcı olur (Alvarez, 2021).

Yersel lazer tarama, obje yüzeylerinin 3b verilerini elde etmek için tarayıcıdan çıkan ışınların mesafe ölçümünü sağlayan ve bu sayede nokta bulutlarını oluşturan bir lazer tarama tekniğidir (Sayar, 2022).

Yersel lazer tarama tekniğinin kültürel mirastaki en önemli avantajları çok sayıda ve hızlı bir şekilde 3b görüntüde kullanılacak veri elde etmesi, ölçümlerin temassız yapılması, ulaşılması güç yerdeki alanları

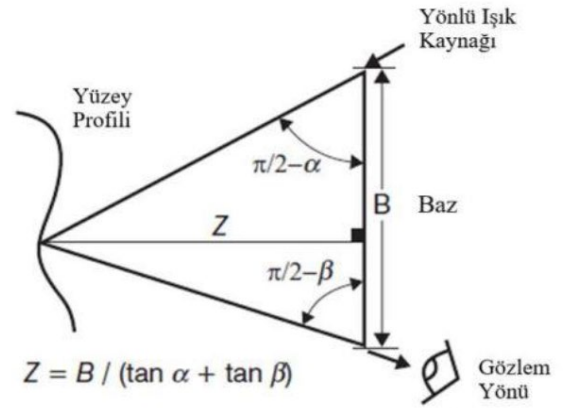
yüksek doğrulukta ölçebilmesi, renkli ortofotolar elde edebilmesidir (Waggot vd., 2005).

Yersel lazer tarama tekniğinin kültürel mirastaki en önemli dezavantajları veri işleminin uzun ve kamaşık olması, pahalı bir sistem olması, yağmurlu ve sisli havalarda kullanılamamasıdır (Batur, 2019).

Kültürel miras eserlerinin 3b veri elde edilmesi sırasında yersel lazer tarayıcıların kurulduğu istasyonlar önemlidir. İstasyonlar tüm eseri tarayacak şekilde ve bindirmeli görüntü verileri elde edecek şekilde belirlenmelidir. Bindirmeler istenilen düzeyde olmazsa elde edilen 3b görüntü verileri birleştirilemez ve tekrar ölçüm gerektirir.

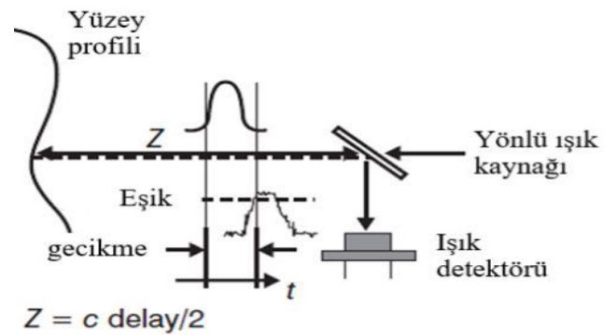
Yersel lazer tarama cihazları çalışma prensibi olarak üç şekilde üretilmiştir. Bunlar:

Üçgenleme: Çalışma mantığı olarak kosinüs teoremine benzemektedir. Tarayıcıdan belli bir açıda ışın gönderilir ve bu ışın tarayıcıya geri döner. Tarayıcıya gönderilen ışının mesafesinin ölçülmesi prensibi ile veri elde eder (Sayar, 2022).



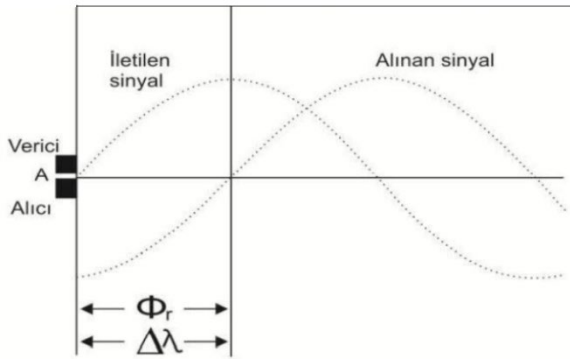
Şekil 10. Aktif üçgenleme yöntemi (Vosselman & Maas, 2010).

Uçuş zamanlı yöntem: Tarayıcıdan çıkan ışın objeden yansır ve tekrar tarayıcıya döner. Tarayıcıya gönderilen ışının gidiş-dönüş süresini ölçerek veri elde eder (Sayar, 2022).



Şekil 11. Uçuş zamanlı yöntem (Vosselman & Maas, 2010).

Faz karşılaştırma yöntemi: Tarayıcıdan çıkan ve objeden tekrar yansıyan ışının sinüs dalgasının faz farkının birbiriyle karşılaştırılmasıyla veri elde eder. Bu yöntem diğer yöntemlerden farklı olarak objeye sürekli ışın gönderir (Sayar, 2022).



Şekil 12. Faz karşılaştırma yöntemi (Vosselman & Maas, 2010).

El tipi lazer tarayıcılar çalışma tekniği olarak üçgenleme tekniğine göre tarama yapmaktadır. Tarayıcıdan çıkan lazer ışınları ve geri dönüşünden elde edilen mesafe yardımı ile veriler işlenerek modelde kullanılacak nokta bulutları elde edilir (Balci, 2022). Mevcut belgeleme tekniklerine göre daha pratik ve hassas ölçümler gerçekleştirilmektedir. Küçük ve dar alanlarda, küçük objelerin modellenmesinde son dönemlerde tercih edilen teknikler arasındadır. Bunun dışında platform boyutu ve maliyet açısından yerel çalışmalarda pek yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir.

Günümüzde, tercih edilen el tipi lazer tarayıcılar Şekil 10 da gösterilmiştir (Zeybek, 2019).



Şekil 13. Piyasadaki giyilebilir ve elle taşınabilir (WLS ve HMLS) sistemler, a) Zeb-Revo(GeoSLAM) b) Heron (Gexcel), c) Leica Pegasus:Backpack, d) Kaarta Stencil 2 (Zeybek, 2019).

Tablo 1. Yersel lazer tarama yöntemlerinin karşılaştırılması (Batur, 2019).

	Uçuş zamanlı	Faz karşılaştırma	Üçgenleme
Mesafe	100m ve üstü	100m'ye kadar	10m'ye kadar
Mesafe çözünürlüğü	1mm	0.1 mm	0.1 mm
Tarama hızı	Yavaş	Hızlı	Çok hızlı
Piyasada bulunan tarayıcılar	Optech, Lei, Riegl, Trim, Callidus	IQSun, Leica, FARO	Structured Light Pro S3, Ein Scan Pro 2X

3. Sonuçlar

Bu çalışmada kültürel mirasın içerisinde yer alan küçük objelerin modellenmesinde kullanılan ölçüm teknikleri incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Çalışmada kullanılan ölçme teknikleri ele alındığında tekniklerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Gelişen teknolojik çalışmalarla beraber ölçme yöntemlerinde kullanılan teknikler, yazılımlar ve platformların geliştirilebilir olduğu saptanmıştır. Uygulamalar geliştikçe elde edilen veriler sonucu oluşan model o kadar doğru olmaktadır. Yapılan çalışmaların türüne, obje boyutuna, maliyetine, istenilen hassasiyete göre ölçüm

tekniki kullanılan aletler farklılık göstermektedir. Maliyet açısından düşünüldüğünde en çok tercih edilen yöntem yersel fotogrametri olmuştur. El tipi lazer tarama tekniği yeni bir teknoloji olduğundan yapılan çalışmaları kadar kapsamlı değildir. Bu yöntemde ölçüm hatalarının tespiti için farklı bir ölçüm tekniği ile karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu kapsamda dijital müzecilik ve kültürel miras eserlerinin belgelenmesinin çoğalmasından umut vericidir.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Akın, E. S. & Erdoğan, A. (2022). İnsansız Hava Araçları (İHA) ile Arkeolojik Alanlarda Belgeleme: Sarıkaya Roma Hamamı (Therma Basilica) Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(3), 335-343. DOI: 10.19113/sdufenbed.1038407
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 2(1), 1-4.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Lazer Tarayıcının Jeolojik Olayların Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 71-75.
- Alvarez, M. (2021). Design of a cost-effective photogrammetric 3D-imaging system for small archaeological artifacts: Optimized for the depth of field. Yüksek Lisans Tezi, *Delft University of Technology, Department of Precision and Microsystems Engineering*, Delft, 2-11.
- Balcı, D. (2022). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 27-36.
- Batur, M. (2019). Characterizing Deformation of Istanbul Wall by Geodetic Terrestrial Laser Scanner. Yüksek lisans tezi, *Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Ana Bilim Dalı*, İstanbul, 13-26.
- Boehler, W., & Marbs, A. (2004). 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison. In *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics*, Gävle, Sweden, 291-298.
- Boehler, W., Vicent, M. B., & Marbs, A. (2003). Investigating laser scanner accuracy. *The international archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 34(Part 5), 696-701.
- Bucchi, A., Luengo, J., Fuentes, R., Arellano-Villalón, M., & Lorenzo, C. (2020). Recommendations for Improving Photo Quality in Close Range Photogrammetry, Exemplified in Hand Bones of Chimpanzees and Gorillas. *International Journal of Morphology*, 38(2).
- El-Hakim, S. F., Beraldin, J. A., Picard, M., & Vettore, A. (2003, October). Effective 3d modeling of heritage sites. In *Fourth International Conference on 3-D*

Digital Imaging and Modeling, 2003. 3DIM 2003. *Proceedings*. (pp. 302-309). IEEE.

- Erdoğan, A., & Mutluoğlu, O. (2020). İnsansız Hava Araçları ile Harita Üretim Çalışmalarında Farklı Yüksekliklerde Yapılan Uçuşların Konum Doğruluğuna Etkisi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 28-35.
- Huber, D., Akinci, B., Tang, P., Adan, A., Okor, B., & Xiong, X. (2010). Using laser scanners for modeling and analysis in architecture, engineering, and construction. In *44th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*, Princeton, USA, 1-6.
- James, M. R., & Quinton, J. N. (2014). Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner (HMLS). *Earth surface processes and landforms*, 39(1), 138-142.
- Jiang, R., Jáuregui, D. V., & White, K. R. (2008). Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review. *Measurement*, 41(8), 823-834.
- Kaneda, A., Nakagawa, T., Tamura, K., Noshita, K., & Nakao, H. (2022). A proposal of a new automated method for SfM/MVS 3D reconstruction through comparisons of 3D data by SfM/MVS and handheld laser scanners. *PloS one*, 17(7), e0270660.
- Kanun, E., Metin, A., & Yakar, M. (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 58-64.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 37-52.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Akyar Cliffs with wearable mobile LiDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 86-89.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022a). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022b). Determination of Stone Material Deteriorations on the Facades with the Combination of Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Historical Burdur Station Premises. *Advanced Geomatics*, 2(2), 65-72.
- Kersten, T. P., Lindstaedt, M., & Vogt, B. (2009). Preserve the past for the future—Terrestrial laser scanning for the documentation and deformation analysis of Easter Island's Moai. *PFG-Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* (1), 79-90.
- 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.

- Lichti, D., Pfeifer, N., & Maas, H. G. (2008). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue "Terrestrial Laser Scanning". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1(63), 1-3.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*. John Wiley & Sons. India, 1, ISBN: 9788126539987, 5.
- Pejić, M., Ogrizović, V., Božić, B., Milovanović, B., & Marošar, S. (2014). A simplified procedure of metrological testing of the terrestrial laser scanners. *Measurement*, 53, 260-269.
- Persson E (2020). Fotogrammetri i en jämförelse med strukturerat ljus 3D-skanning. Yüksek Lisans Tezi, Umeå University, Faculty of Science and Technology, Department of Applied Physics and Electronics, Umeå, 4-5.
- Porter, S. T., Roussel, M., & Soressi, M. (2016). A simple photogrammetry rig for the reliable creation of 3D artifact models in the field: lithic examples from the Early Upper Paleolithic sequence of Les Cottés (France). *Advances in Archaeological Practice*, 4(1), 71-86.
- Pulat, F., Yakar, M., & Ulvi, A. (2022). Comparison of photogrammetric software using the terrestrial photogrammetric method: The case of Hüsrev Paşa Mosque. *Intercontinental Geoinformation Days*, 4, 192-195.
- Rodríguez-Martín, M., & Rodríguez-Gonzálvez, P. (2020). Suitability of automatic photogrammetric reconstruction configurations for small archaeological remains. *Sensors*, 20(10), 2936.
- Sayar, R. (2022). Kültürel miras koruma çalışmalarında yersel lazer tarama (TLS) ve insansız hava araçları (UAVs) verilerinin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- 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: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- 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.
- Vosselman, G., & Maas, H. G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. CRC press, 1, ISBN:1439827982.
- Waggot, S. M., Clegg, P., Jones, R. R. (2005). Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration. 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques: Applications in GIS, Mapping, Manufacturing, Quality Control, Robotics, Navigation, Mobile Mapping, Medical Imaging, VR Generation and Animation. Vienna, Austria, October 3-5.
- Yakar, M., Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2015). The Problems and Solution Offers, Faced During The 3d Modeling Process Of Sekiliyurt Underground Shelters With Terrestrial Laser Scanning Method. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 2(2), 39-45.
- Yakar, M., Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). The Use of Laser Scanner in Caves, Encountered Problems and Solution Suggestion. *Universal Journal of Geoscience*, 4(4), 81-88.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2008). Lazer tarama teknolojisi ve fotogrametrik yöntem ile hacim hesabı.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz H.M., Yakar M., Yıldız F., Karabork H., Kavurmaci M.M., Mutluoglu O., & Goktepe A. (2010). Determining rates of erosion of an earth pillar by terrestrial laser scanning. *Arab. J. Sci. Eng.* 35(2A), 163-172 (2010)
- Zagorchev, L., & Goshtasby, A. (2006). A Comparative Study of Transformation Functions for Nonrigid Image Registration. *IEEE Transactions On Image Processing*, 15(3), 529-538.
- Zeybek, M. (2019). El-tipi LiDAR ölçme sistemleri ve 3B veri işleme. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 10-15.
- Zeybek, M., & Biçici, S. (2021). 3D Dense Reconstruction of Road Surface from UAV Images and Comparison of SfM Based Software Performance. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 2(2), 96-105.



© Author(s) 2023.

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