

Mobil LiDAR Teknolojisinin Arkeolojik Belgelemedeki Uygulanabilirliği: Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması Projesi Örneği

İskender Dölek ^{1*}, İhsan Tuğal ² & Adnan Çevik ³

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Sosyal Bilimler Bölümü, 49250, Muş; (i.dolek@alparslan.edu.tr)

² Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 49250, Muş, Türkiye; (i.tugal@alparslan.edu.tr)

³ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Tarih Bölümü, 48000, Muğla; (cadnan@mu.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
i.dolek@alparslan.edu.tr

Araştırma Makalesi

Ahntı: Dölek, İ., Tuğal, İ. & Çevik, A. (2025). Mobil LiDAR Teknolojisinin Arkeolojik Belgelemedeki Uygulanabilirliği: Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması Projesi Örneği. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 7(2), 40-48.

Geliş : 07.06.2025
Revize 1 : 20.10.2025
Revize 2 : 30.10.2025
Kabul : 03.12.2025
Yayınlama : 25.12.2025

Özet

Bu çalışma, mobil cihazlarda entegre halde bulunan LiDAR teknolojinin arkeolojik belgeleme süreçlerindeki uygulanabilirliğini, Malazgirt Savaş Alanı özelinde değerlendirmektedir. Geleneksel belgeleme yöntemlerinin zaman alıcı ve hata riski yüksek doğasına karşılık, mobil LiDAR sistemleri düşük maliyet, taşınabilirlik ve hız gibi avantajlar sunmaktadır. Çalışmada, iPhone 15 Pro cihazı ile "Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması" projesi kapsamında seçilen kazı alanlarında üç boyutlu (3D) modelleme gerçekleştirilmiştir. Tarama işlemleri Polycam 3D Scanner ile yapılmış; nokta bulutu verileri işlenerek görselleştirilmiştir. Elde edilen modeller, yapı kalıntılarının, yüzey morfolojisinin ve gömü alanlarının detaylı biçimde analizine olanak tanımıştır. Verilerin GPS'siz tarama sonucu oluşmasına rağmen bağlı doğruluğu yüksek bulunmuştur. Mobil LiDAR sisteminin özellikle küçük ve açık arkeolojik alanlarda hızlı, erişilebilir ve tahribatsız belgeleme imkânı sunduğu ortaya konmuştur. Ancak 8 metreyle sınırlı menzil, ışık ve yüzey koşullarına duyarlılık gibi sınırlamalar dikkatle ele alınmıştır. Çalışma, mobil LiDAR teknolojinin özellikle ön inceleme, afet sonrası durum tespiti ve bellek alanlarının belgelenmesi gibi senaryolarda tamamlayıcı bir dijital araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: LiDAR teknolojisi, Mobil LiDAR tarama, Arkeolojik belgeleme, Kültürel miras, Malazgirt Savaş Alanı.

Applicability of Mobile LiDAR Technology in Archaeological Documentation: The Case of the Malazgirt Battlefield Identification, Historical and Archaeological Surface Survey Project

*Corresponding Author:
i.dolek@alparslan.edu.tr

Research Article

Citation: Güner, Dölek, İ., Tuğal, İ. & Çevik, A. (2025). Applicability of Mobile LiDAR Technology in Archaeological Documentation: The Case of the Malazgirt Battlefield Identification, Historical and Archaeological Surface Survey Project. *Turkish Journal of LiDAR*, 7(2), 40-48 (in Turkish).

Received : 07.06.2025
Revised 1 : 20.10.2025
Revised 2 : 30.10.2025
Accepted : 03.12.2025
Published : 25.12.2025

Abstract

This study evaluates the applicability of LiDAR technology integrated into mobile devices for archaeological documentation, with a specific focus on the Malazgirt Battlefield. In contrast to traditional documentation methods, which are time-consuming and prone to errors, mobile LiDAR systems offer advantages such as low cost, portability, and rapid data acquisition. Within the scope of the "The Malazgirt Battlefield Detection, Historical and Archaeological Surface Research Project" project, three-dimensional (3D) modeling was conducted in selected excavation areas using an iPhone 15 Pro Scanning was performed with the Polycam 3D Scanner application, and the resulting point cloud data were processed for visualization. The generated models allowed detailed analysis of structural remains, surface morphology, and burial areas. Although the scanning was conducted without GPS, the relative accuracy of the data was found to be high. The study demonstrates that mobile LiDAR systems provide fast, accessible, and non-invasive documentation, particularly in small and open archaeological sites. However, limitations such as the 8-meter range, sensitivity to lighting conditions, and surface characteristics were carefully considered. The findings suggest that mobile LiDAR technology can serve as a complementary digital tool, especially in scenarios such as preliminary surveys, post-disaster assessments, and the documentation of heritage or memory sites.

Keywords: LiDAR technology, Mobile LiDAR scanning, Archaeological documentation, Cultural heritage, Malazgirt Battlefield.

1. Giriş

Arkeolojik çalışmalarda geleneksel belgeleme yöntemleri (elle çizim, fotoğraf, ölçüm aletleri), zaman alıcı olmasının yanı sıra insan kaynaklı hatalara ve veri kaybına açıktır. Dijital belgeleme teknolojileri, bu sınırlamaları aşarak yüksek doğrulukta, tekrarlanabilir ve arşivlenebilir veri setleri sunar. Özellikle hassas arkeolojik katmanların ve mimari kalıntıların üç boyutlu modellenmesi, alanın zamansal değişiminin izlenmesi, tahribat risklerinin önlenmesi ve sanal rekonstrüksiyon çalışmaları için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, dijital verilerin paylaşılabirliği, disiplinlerarası iş birliğini artırarak kültürel mirasın küresel ölçekte korunmasına katkı sağlar. Bu nedenle, dijital belgeleme, son yıllarda modern arkeolojinin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir (Antón et al., 2025).

LiDAR (Light Detection and Ranging - Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü) teknolojisi, lazer ışınları gönderip bu ışınların nesnelerden yansarak geri dönüş süresini hesaplaması prensibiyle çalışır. Bu yöntem, çevredeki nesnelerin ve yüzeylerin yüksek hassasiyetle derinlik haritalarını oluşturmayı mümkün kılar. Kültürel miras alanlarında, tarihi yapıların, arkeolojik alanların ve anıtların dijital kopyalarının oluşturulması için LiDAR, restorasyon ve uzun vadeli koruma planlarının hazırlanmasında önemli bir veri kaynağıdır. Geleneksel büyük ölçekli ve ağır LiDAR sistemlerinin aksine, günümüzde mobil cihazlara entegre edilen veya el tipi cihazlar şeklinde geliştirilen taşınabilir LiDAR sistemleri; uygun maliyet, erişilebilirlik, kolay kullanım ve hızlı 3D modelleme gibi avantajlar sunarak, hem amatör hem de yarı profesyonel kullanıcıların yüksek maliyetli ekipmanlara ihtiyaç duymadan dijital veri elde etmelerine olanak sağlamaktadır (Özdemir et al., 2022).

LiDAR teknolojisi, arkeolojik araştırmaların dijital belgeleme süreçlerine çok yönlü katkılar sunarak bu alanda çok önemli gelişmelere yol açmıştır. Lazer tabanlı bu uzaktan algılama yöntemi, özellikle yüksek çözünürlüklü üç boyutlu veri toplama kapasitesi sayesinde arkeolojik alanların ve eserlerin milimetrik hassasiyetle belgelenmesine olanak tanımaktadır. Geleneksel yöntemlerle günler sürebilecek ölçüm çalışmaları, LiDAR ile dakikalar içinde gerçekleştirilebilmekte ve insan kaynaklı hata payı en aza indirgenmektedir. Bu teknolojinin en dikkat çekici özelliklerinden biri, hava LiDAR sistemlerinin yoğun bitki örtüsünü filtreleyerek altında kalmış arkeolojik kalıntıları tespit edebilmesidir; bu yetenek, özellikle ormanlık alanlarda Maya uygarlığına ait kayıp şehirlerin keşfinde çığır açıcı sonuçlar vermiştir (Chase et al., 2011).

Mobil LiDAR sistemleri ve iPhone gibi taşınabilir cihazlarda entegre LiDAR tarayıcıların kullanıma

sunulması, bu teknolojinin saha çalışmalarında daha erişilebilir hale gelmesini sağlamıştır. Bu gelişme, özellikle kısıtlı bütçeli projelerde ve acil belgeleme gerektiren durumlarda büyük kolaylık sağlamaktadır (Kottner et al. 2023; Saif & Alshibani, 2022). LiDAR'ın tahribatsız belgeleme yöntemi olması, hassas arkeolojik eserlerin (alanların) ve yapıların fiziksel temas riski olmadan dijital ortama aktarılmasına imkan vererek koruma çalışmalarına önemli katkı sunmaktadır. Elde edilen verilerin fotogrametri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi diğer dijital belgeleme yöntemleriyle entegre edilebilmesi, arkeolojik alanların çok katmanlı ve kapsamlı analizini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, zaman içinde tekrarlanan taramalarla arkeolojik alanlardaki değişimlerin izlenebilmesi, eserlerin korunması ve yönetimi açısından ayrı bir katkı sunmaktadır (Comer & Harrower, 2013; Teppati Losè et al., 2022; wingtra.com Erişim:29.09.2024, n.d.).

LiDAR teknolojisinin sunduğu bu avantajların yanı sıra, bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Özellikle mobil cihazlarda kullanılan LiDAR sistemlerinin derin kazı alanlarında yetersiz kalabilmesi ve ham verilerin işlenmesi için uzmanlık gerektirmesi, teknolojinin yaygın kullanımını kısıtlayan faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır (Günen et al., 2023). Ancak yapay zeka destekli veri analizi yöntemlerinin gelişmesi ve artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla entegrasyonun artması, LiDAR'ın arkeolojik çalışmalardaki rolünü gelecekte daha da güçlendireceğini göstermektedir (Abbas & Abed, 2024). Özellikle hızlı belgeleme, gizli yapıların keşfi ve koruma odaklı çalışmalarda LiDAR teknolojisi, modern arkeolojinin vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir. Taşınabilir LiDAR cihazlarının yaygınlaşması, bu avantajları küçük ölçekli projelere de taşımıştır (Vinci et al, 2025).

2. Çalışmanın Önemi

Bu çalışmanın temel güçlü yönlerinden biri, mobil cihaz olan iPhone 15 Pro'ya entegre LiDAR sensörünün, "Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması" adlı, "Savaş Alanı Arkeolojisi" temalı proje kapsamında ilk 3D belgeleme uygulamalarından birinde kullanılmış olmasıdır. Özellikle Malazgirt Savaş Alanı gibi tarihî öneme sahip geniş ölçekli bir açık alanda çalışmanın farklı aşama ve yerlerinde küçük alanlarda bu teknolojinin test edilmesi, mobil LiDAR sistemlerinin belgeleme çalışmalarında uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada, pahalı ekipmanlara ve karmaşık kurulumlara gerek duyulmadan üç boyutlu belgeleme yapılabilmiş, bu da yöntem açısından erişilebilirlik ve saha uygulama kolaylığı sağlamıştır. Ek olarak, LiDAR

verilerinin görsel açıdan yeterli çözünürlükte olması ve arazi koşullarında hızlı veri toplanabilmesi, bu yöntemin özellikle zaman ve kaynak kısıtı bulunan durumlarda pratik bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Görsel çıktılar, yüzey topografyasını ve yapısal elemanları temel düzeyde ayrıştırabilecek doğrulukta olduğundan, ön inceleme, ön belgeleme ya da hızlı durum değerlendirmeleri için etkili bir alternatif oluşturabilir. Bu özellik, özellikle afet sonrası belgelenme, kaçak kazıların izlenmesi veya geçici yapıların arkeolojik çalışmalar öncesi kontrolünde fayda sağlayabilir.

3. Literatür

LiDAR teknolojisinin arkeolojik araştırmalardaki uygulamalarına ilişkin literatür, son 20 yılda önemli ölçüde genişlemiştir. Chase ve arkadaşlarının (2011) Belize'deki Caracol Maya yerleşiminde gerçekleştirdiği hava LiDAR (ALS) araştırması, bu teknolojinin tropikal orman örtüsü altındaki arkeolojik özellikleri ortaya çıkarma kapasitesini etkileyici bir şekilde ortaya koymuştur (Chase et al., 2011).

LiDAR verilerinin arkeolojik yorumlanmasına dair metodolojik çerçeve, Opitz ve Cowley (2013) tarafından detaylandırılmıştır. Bu çalışma, nokta bulutu verilerinin arkeolojik analizlerde nasıl kullanılabileceğine dair temel prensipleri belirlemiştir (Opitz & Cowley, 2013). Yersel LiDAR (TLS) uygulamaları konusunda Doneus ve Neubauer (2005), kazı alanlarında yüksek çözünürlüklü belgelemenin stratigrafik kayıtların korunmasındaki kritik rolünü vurgulamıştır (Neubauer & Doneus, 2005).

Paukkonen (2023) tarafından yapılan çalışmada arkeolojik saha belgelemesi için yeni nesil uygun fiyatlı 3D teknolojileri karşılaştırılmaktadır. Finlandiya'daki Erken Modern Dönem kazı alanında iki yöntem test edilmiştir. DJI Osmo Pocket gimbal kamera ile fotogrametri ve iPhone 12 Pro LiDAR taramaları yapılmıştır. Bunlara ek referans olarak daha profesyonel bir yer lazer tarayıcı kullanılmıştır. Araştırma, bu yöntemlerin veri toplama süreçlerini, doğruluklarını, kullanım kolaylığını ve zaman verimliliğini analiz etmektedir. Sonuçlar, özellikle sınırlı bütçeli projelerde her iki yöntemin de kabul edilebilir doğrulukta 3D belgeleme sağlayabildiğini göstermektedir. Çalışma, bu teknolojilerin henüz mükemmel olmasa da, özellikle zaman ve maliyet kısıtları olan arkeologlar için umut verici alternatifler sunduğunu ve 3D saha belgelemesinin geleceğine ışık tuttuğunu vurgulamaktadır (Paukkonen, 2023).

Furlani ve arkadaşları çalışmalarında Malta'nın Gozo adası kıyılarında deniz mağaraları ve ilgili kıyı yapılarının (deniz kemerleri, yığın kayalar, sığınaklar) envanterini sunmaktadır. Araştırmada, 79 yarı-su altı

mağarası, 5 tamamen su altında kalmış mağara, 7 deniz kemeri, 1 yığın kaya ve 1 kıyı sığınağı haritalanmıştır. Dokuz mağaranın su üstünde kalan kısımlarının 3D belgelemesi iPhone'un dahili LiDAR sensörüyle yapılmıştır (Furlani et al., 2023).

Apple'ın Mart 2020'de piyasaya sürdüğü yeni iPad Pro (ve sonrasında iPhone 12/13 Pro serilerinde yer alan) entegre LiDAR sensörü, özellikle artırılmış gerçeklik uygulamaları başta olmak üzere ölçümleme ve belgeleme alanlarında yenilikçi potansiyel taşımaktadır. Losè ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 2021 Eylül itibarıyla, Apple LiDAR'ı kullanan üç iOS uygulaması farklı ölçümleme senaryolarında test edilmiştir. Sensörün genel doğruluğu, optimal veri toplama stratejileri, operasyonel kısıtlamalar ve elde edilen 3B nokta bulutlarının konumsal hassasiyeti karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, bu teknolojinin kültürel miras belgelemede umut vaat etmekle birlikte, uygulama seçiminin ve veri toplama protokollerinin 3B model kalitesini kritik ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, kültürel miras dokümantasyonu bağlamında düşük maliyetli ve taşınabilir bu sensörün performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Teppati Losè et al., 2022).

Tavani ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında, akıllı telefonlara entegre edilen LiDAR sensörlerinin jeolojik alanlarda uygulanabilirliği ve veri toplama sürecine sağladığı pratiklik vurgulanmıştır. Çalışmada, bu tür mobil cihazların sahada hızlı ve erişilebilir veri elde etme imkânı sunduğu, dolayısıyla kültürel mirasın dijitalleştirilmesinde de benzer avantajlar sağlayabileceği belirtilmiştir (Tavani et al., 2022).

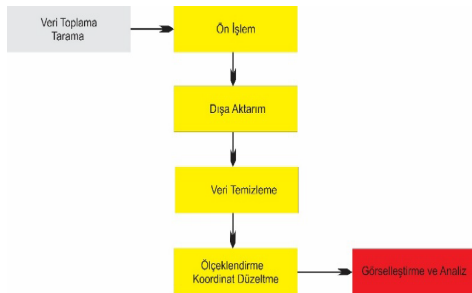
Błaszczak-Bak ve arkadaşlarının (2023) gerçekleştirdiği araştırmada, akıllı telefonlar üzerinde bulunan LiDAR sensörlerinin bina yüzeylerindeki kusurların tespiti ve ölçümleri için kullanılabilirliği incelenmiş, böylece tarihi yapıların restorasyon ve bakım süreçlerinde uygulama potansiyeli ortaya konulmuştur. Bu yöntem, özellikle detaylı yüzey analizlerinin gerektiği durumlarda, geleneksel yöntemlere göre daha pratik ve hızlı sonuçlar verebilmektedir (Błaszczak-Bak et al., 2023).

Janicka ve Błaszczak-Bak'ın (2025) raporunda, akıllı telefonla elde edilen LiDAR verilerinin, referans olarak kullanılan TLS (terrestrial laser scanning) verileri ile entegrasyon sürecinde dikkatle değerlendirilmesi gerektiği, ancak uygun metodolojiler kullanıldığında entegrasyonun yüksek doğrulukla gerçekleştirilebildiği vurgulanmıştır. Bu çalışma, özellikle kültürel miras alanlarında karmaşık yapıların modellenmesi ve detayların korunması açısından önemli metodolojik katkılar sunmaktadır (Janicka & Błaszczak-Bak, 2025).

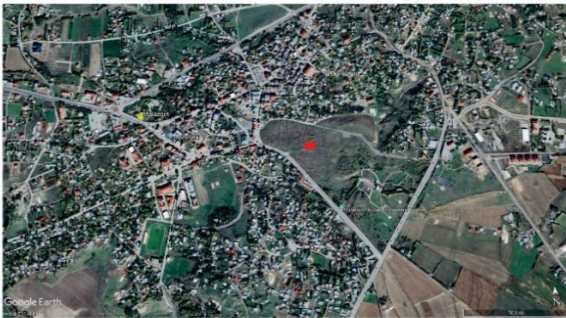
4. Materyal ve Metotlar

Bu çalışmada, Malazgirt Savaş Alanı'na ait arkeolojik kalıntıların üç boyutlu belgelenmesi amacıyla iPhone 15 Pro modelinde yerleşik olarak bulunan LiDAR sensörü kullanılmıştır. Time-of-Flight (Uçuş Süresi) prensibine dayanan bu sensör, yakın kızılötesi lazer darbeleri aracılığıyla yüzeylerden yansıyan sinyalleri algılayarak yüksek hassasiyetli nokta bulutu verisi üretir. Tarama işlemleri, kazı alanı içerisinde el ile cihaz dolaştırılarak yaklaşık 1-2 metre mesafeden gerçekleştirilmiş hem dikey hem de yatay düzlemde yapısal detaylar modellenmiştir.

Tarama sürecinde Polycam uygulaması('Polycam Uygulaması', n.d.) aracılığıyla gerçek zamanlı 3D veri toplanmış, veriler cihaz içinde ilk işlemeye tabi tutularak sahada doğrudan üç boyutlu modele dönüştürülmüştür. Bu süreçte doku verisi de eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Cihazın taşınabilirliği sayesinde hızlı, düşük maliyetli ve tahribatsız bir belgeleme süreci sağlanmış; hassas yüzeylere fiziksel müdahale gerekmesizin arkeolojik belgeler dijital ortama aktarılmıştır. Yöntem, özellikle ön inceleme, afet sonrası durum tespiti ve geçici yapıların belgelenmesi gibi senaryolarda pratik bir çözüm sunmaktadır.



Şekil 1. Lidar ile 3D model oluşturma akış şeması.



Şekil 2. Çalışılan alanın konumu.

3D belgeleme için veri işleme süreci, Şekil 1'de görüldüğü üzere sahada veri toplama, cihaz içi ön işleme, model dışı aktarımı ve masaüstü yazılımlarda nihai düzenleme aşamalarından oluşmaktadır. Tablo 1'de, çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlara ilişkin versiyon bilgileri verilmiştir.

4.1 Malazgirt Savaş Alanı

1071 yılının 26 Ağustos'unda gerçekleşen Malazgirt Savaşı, Türk ve İslam tarihi açısından olduğu kadar dünya tarihi bakımından da bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Alican, 2018; Çetin, 2017; Roux, 2002; Sevim, 2023). Selçuklu ordusunun Bizans İmparatorluğu karşısında kazandığı bu zafer, Anadolu'nun Türklerin yerleşimine açılmasını sağlamış ve bölgenin kısa sürede yeni bir sosyo-kültürel kimlik kazanmasına öncülük etmiştir. Bu gelişme, Bizans'ın siyasal gücünde geri döndürülemez bir çözülme sürecini başlatırken, Orta Çağ Avrupa'sının siyasi ve dini dengelerini de köklü biçimde etkilemiştir. En nihayetinde, Anadolu'nun bugünkü anlamda "Türkiye" kimliğine kavuşmasının temelleri bu savaşla atılmıştır (Alican, 2018; Dolek, 2023; Dolek & Çevik, 2023; Dölek & Çevik, 2023).

Bu bağlamda Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın desteklediği "Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması" projesi yalnızca savaş alanının topografik izlerini ortaya çıkarmakla kalmayıp, aynı zamanda bu alanı dijitalleştirerek artırılmış gerçeklik, sanal müzeler ve bellek haritaları gibi yeni medya araçlarıyla yeniden inşa etmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, savaşın mekânsal belleğini kamusal ve akademik düzlemde görünür kılarak Malazgirt'in bir "hafıza mekânı" olarak kurumsallaşmasını da sağlamayı hedeflemektedir.

Bu yönüyle Malazgirt, yalnızca bir askerî olayın yaşandığı alan değil, tarihsel süreklilik, kimlik inşası ve kültürel miras yönetimi açısından çok katmanlı bir anlam taşıyan bir mekân olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, savaş alanının bilimsel yöntemlerle belgelenmesi, Türkiye'nin tarihsel sürecini anlamak açısından da kritik bir adımdır. Şekil 2'de çalışılan alanın görüntüsü verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan donanım ve yazılım bilgileri.

Bileşen	Marka/Model	Yazılım/Versiyon	Kullanım Amacı
Mobil cihaz	iPhone 15 Pro	iOS 18.6.2	LiDAR taramaları için donanım platformu
LiDAR sensörü	Apple LiDAR (ToF)	Donanım gömülü	Nokta bulutu verisi üretimi
Uygulama	Polycam 3D Scanner	Polycam Pro 4.7	Gerçek zamanlı 3D veri toplama ve modelleme

4.2 Donanım ve Teknoloji

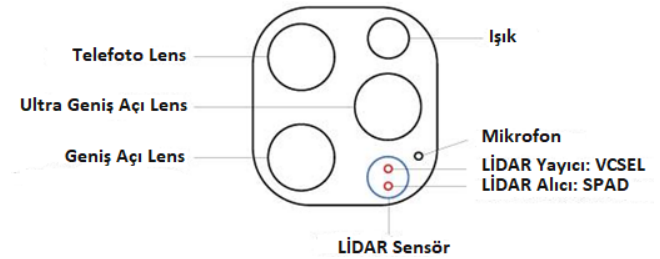
Apple'ın mobil cihazlara entegre ettiği LiDAR teknolojisi, geleneksel lazer tarama sistemlerinin taşınabilir ve kullanıcı dostu bir versiyonu olarak değerlendirilebilir. Temel olarak Time-of-Flight (ToF) prensibiyle çalışan bu sistem, kızılötesi lazer darbeleri göndererek nesnelerle olan mesafeyi büyük iyi bir hassasiyetle ölçmekte ve ortamın detaylı bir 3D haritasını oluşturmaktadır. Özellikle iPad Pro ve iPhone Pro serilerinde kullanılan bu teknoloji, profesyonel ekipmanlara kıyasla daha sınırlı bir menzile (iPhone 15 Pro için yaklaşık 8 metre) sahip olsa da arkeolojik saha (küçük alanlar için) çalışmaları için oldukça pratik çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

Apple LiDAR'ın en dikkat çekici özelliklerinden biri, düşük ışık koşullarında bile yüksek performans gösterebilmesidir. Bu özellik, kapalı mekanlardaki arkeolojik kalıntıların veya günün farklı saatlerindeki kazı alanlarının tutarlı bir şekilde taranabilmesine olanak tanımaktadır. Sensörün ürettiği nokta bulutu verileri, Polycam 3D Scanner gibi uygulamalarla işlenerek arkeologların kullanımına uygun 3D modellere dönüştürülebilmektedir (Tosun & Çolak, 2023). Ancak, özellikle yansıtıcı yüzeylerde ve ince detayların bulunduğu alanlarda profesyonel tarayıcılara kıyasla bazı sınırlamalar gösterebilmektedir.

Arkeoloji alanında Apple LiDAR'ın kullanımı, özellikle hızlı belgeleme ve ön inceleme çalışmalarında büyük kolaylık sağlamaktadır. Kazı alanlarının günlük olarak dijitalleştirilmesi, mimari kalıntıların belgelenmesi veya müze koleksiyonlarının envanterlenmesi gibi uygulamalarda etkili sonuçlar vermektedir. Bu teknolojinin en önemli avantajlarından biri profesyonel ekipmanlara erişimi olmayan araştırmacılar ve küçük ölçekli projeler için 3D belgeleme imkanı sunmasıdır. Bununla birlikte, yüksek hassasiyet gerektiren durumlarda destekleyici bir araç olarak kullanılması ve verilerin ek yazılımlarla doğrulanması önerilmektedir (Jeftha & Shoko, 2024).

Bu çalışmada kullanılan cihaz iPhone 15 Pro olup, 2023'de piyasaya sürülmüştür. Cihaz 187 gram ağırlığa, 8.25 mm kalınlığa ve 6.1 inç boyutunda ProMotion teknolojisine sahip Super Retina XDR ekrana sahiptir. 6 çekirdekli CPU, 6 çekirdekli GPU ve 16 çekirdekli Neural Engine ile donatılmış A17 Pro (3 nm) yonga seti vardır. 8 GB RAM ve 128 GB dahili depolama alanına sahiptir. Arka kamera sisteminde üç adet 48 MP ana kamera, 12 MP ultra geniş açı ve 12 MP telefoto lens yer almaktadır. Ayrıca cihazda, 3D Time-of-Flight (ToF) LiDAR sensörü entegre olarak bulunmaktadır. Şekil 3'te kameraların telefon üzerindeki yerleşimi görülebilmektedir.

iPhone 15 Pro modelinde bulunan LiDAR sensörü, Apple'ın artırılmış gerçeklik ve derinlik algılama teknolojilerinde önemli bir rol oynayan katı hal (solid-state) yapıda bir lazer tarayıcıdır. Bu sensör, motorize mekanik parçalara ihtiyaç duymadan çalıştığı için hem daha dayanıklı hem de daha yüksek ölçeklenebilirliğe sahiptir (Askar & Sternberg, 2023). iPhone 15 Pro'nun LiDAR sistemi, 940 nm dalga boyunda çalışan bir VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser -- Dikey Boşluk Yüzey Yayan Lazer) tabanlı lazer kaynağı kullanmaktadır. Lazer darbeleri, difraktif optik elemanlar (DOE) aracılığıyla geniş bir alana dağıtılarak sahnenin üç boyutlu yapısının algılanmasını sağlar. Yüzeylerden yansıyan fotonlar, yüksek hassasiyetli bir SPAD (Single-Photon Avalanche Diode - Tek Fotonlu Çığ Diyotu) dedektör dizisi tarafından algılanır. Bu sistem, Time-of-Flight (ToF) prensibine dayanarak her bir lazer darbesinin geri dönüş süresini ölçer ve bu verilerden sahnenin derinlik haritası (depth map) oluşturulur. Elde edilen nokta bulutu, cihaz içi işlemci tarafından gerçek zamanlı olarak işlenerek üç boyutlu (3D) geometriyi temsil eden veriye dönüştürülür. (Liang et al., 2024; Tondo et al., 2023). Bu özellikler, cihazın düşük ışık koşullarında bile daha hızlı ve doğru otomatik odaklama yapabilmesini, portre modunda alan derinliğini daha hassas belirleyebilmesini ve artırılmış gerçeklik uygulamalarında nesnelerle fiziksel çevre arasında daha doğru etkileşim kurulmasını sağlar.



Şekil 3. iPhone pro kamera (tondo et al., 2023).

4.3 Yöntem.

Bu çalışmada, Malazgirt Savaş Alanı kazı sahasında mevcut arkeolojik yapıların üç boyutlu belgelenmesi amacıyla Apple iPhone 15 Pro cihazında yerleşik olarak bulunan LiDAR sensöründen yararlanılmıştır. Cihaz, VCSEL tabanlı lazer kaynağı ve SPAD tipi dedektörüyle nesne yüzeyinden yansıyan ışınları cm hassasiyetle algılayarak üç boyutlu nokta bulutu üretmektedir. Kullanılan sensör, kısa mesafe iç mekân ve açık hava yüzey taramaları için optimize edilmiş olup, yaklaşık 0,2 m – 8 m aralığında etkin bir derinlik algısı sunmaktadır.

Tarama işlemi, kazı alanı içinde mezar kalıntılarının yer aldığı bölge üzerinde yaklaşık 140 m²'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Saha taraması

boyunca LiDAR destekli mobil uygulama Polycam 3D Scanner kullanılarak gerçek zamanlı nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutlarının işlenmesi ve 3D modellere dönüştürülmesi sürecinde kullanılan yazılım araçlarının bazı sınırlamaları, veri kaybına veya istenmeyen gürültüye (noise) neden olabilmektedir. Ayrıca, farklı uygulamalar arasında veri entegrasyonu konusunda uyum problemleri yaşanabilmektedir (Abbas & Abed, 2024; Gillihan, 2021). Tarama sırasında kullanıcı, cihazı düşük irtifada ve sabit hızda hareket ettirerek alanın tüm yönlerden eksiksiz taranmasına özen göstermiştir. Bu sayede hem dikey hem yatay düzlemde duvar hatları, mezar taşları ve yüzey topografyası net bir şekilde modellenmiştir. Tarama işlemi, kazı alanı çevresinde cihazın elde taşınarak belirli hız ve sabit yükseklikle dolaştırılması yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Cihazın sabit bir hareket paternine bağlı kalınarak, tarama mesafesi 1-2 metre aralığında tutulmuştur. Tarama sırasında kamera modülü de aktif olduğundan, LiDAR ile birlikte renkli doku verisi de eş zamanlı toplanmıştır.

Toplanan veriler, ön işleme tabi tutulmuş ve ardından cihaz üzerinden doğrudan üç boyutlu model olarak dışa aktarılmıştır. Modelleme aşamasında yüzey interpolasyonu ve örgü (mesh) üretimi gibi işlemler uygulama arayüzü içerisinde gerçekleştirilmiş olup, herhangi bir ek yazılım olmaksızın sahada ilk modelleme tamamlanmıştır.

5. Bulgular

LiDAR tabanlı tarama sonucunda, Malazgirt Savaş Alanı kazı sahasının belirlenen bölümüne ait yüksek çözünürlüklü üç boyutlu modeller başarıyla elde edilmiştir. Elde edilen veriler, alanın topografik yapısı, mimari unsurları ve yerel düzensizlikleri ayırt edebilecek düzeyde detay içermektedir. Görsellerde de görüldüğü üzere, elde edilen üç boyutlu veri, alanın morfolojik özelliklerini yüksek düzeyde yansıtmaktadır. Özellikle mimari yapıya ait kütlelerin (duvar blokları, taş dizileri) detaylı bir şekilde yakalanabildiği tespit edilmiştir. Tarama işlemleri, GPS (Global Positioning System - Küresel Konumlandırma Sistemi) veya GNSS (Global Navigation Satellite System - Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) tabanlı konumlandırma olmaksızın yapılmıştır. Bu nedenle, mutlak koordinat doğruluğu sağlanamamakla birlikte, bağıl doğruluk (geometrik oranlar ve detay ilişkileri) oldukça yüksektir. Cihazın hareket hızı, ışık koşulları ve yüzey yansıtıcılığı gibi faktörler nokta yoğunluğunu etkilemiştir. Ancak genel bütünlük açısından model üzerinde anlamlı bozulmalar tespit edilmemiştir.

Mobil LiDAR taramalarının elde taşınarak yapılması, veri kalitesini doğrudan etkileyen bir diğer

faktördür. Kullanıcının el hareketi, tarama açısı ve nesneye olan mesafenin değişkenliği, özellikle kenar bölgelerde nokta yoğunluğunda ve hizalamada küçük sapmalara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, bu durum cihazın yerleşik sensör füzyonu sayesinde büyük ölçüde dengelenmiştir. Profesyonel tripod tabanlı LiDAR sistemlerine kıyasla bu yöntem, santimetre düzeyinde doğruluk yerine hızlı ve niteliksel veri üretimini hedeflemektedir. Buna rağmen, sınırlı alanlarda yapılan el tipi taramalar, yüzey morfolojisinin belgelenmesinde yeterli geometrik tutarlılığı sağlamaktadır.

Bununla birlikte, profesyonel yer tabanlı LiDAR veya fotogrametrik sistemlerle kıyaslandığında mobil LiDAR verilerinin doğruluk düzeyi genellikle birkaç santimetre mertebesinde sapma göstermektedir. Özellikle geniş alanlarda ve yüksek kot farkı bulunan yüzeylerde mutlak konum doğruluğu sınırlı kalabilmektedir. Ancak taşınabilir sistemlerin düşük maliyet, hızlı veri toplama ve tahribatsız belgeleme gibi avantajları dikkate alındığında, bu fark birçok arkeolojik yüzey belgeleme senaryosu için kabul edilebilir düzeydedir. Dolayısıyla mobil LiDAR, profesyonel sistemlere kıyasla hassas ölçüm değil, erken aşama dokümantasyon ve ön inceleme amacıyla oldukça işlevsel bir alternatif olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4. Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması Projesi kapsamında, 2024 yılında ‘Arap Mezarlığı’ olarak adlandırılan alanda açığa çıkarılan mezar yapılarına ait üç boyutlu (3D) model.

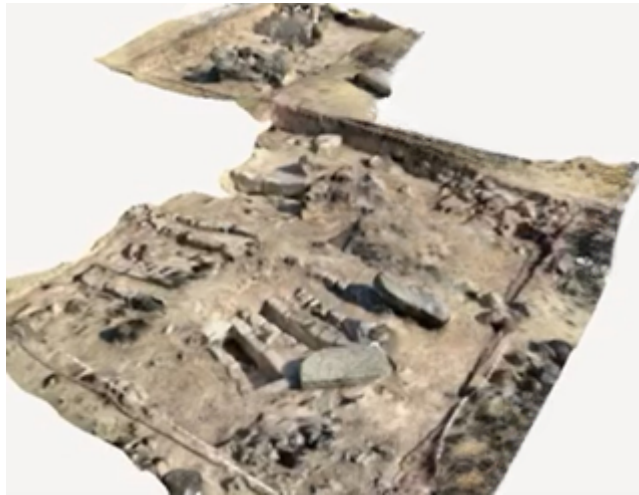


Şekil 5. Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması Projesi Kapsamında, “Arap Mezarlığı” olarak adlandırılan alanda belgelenen bir mezar taşının üç boyutlu (3D) modeli.



Şekil 6. Kazı çalışmalarıyla ortaya çıkarılan ve "Arap Mezarlığı" Olarak bilinen alandaki mezar yerleşimlerini gösteren üç boyutlu (3D) model.

Model üzerinde yapılan incelemelerde, kazı alanındaki duvar kalıntıları, taş dizileri ve gömü alanlarına ilişkin geometrik farklılıkların net bir şekilde yansıtıldığı görülmüştür (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7). Özellikle dik açılı duvar kesitleri, farklı malzeme yoğunlukları ve zemin eğimleri model üzerinde ayırt edilebilmiştir. Bu durum, mobil LiDAR teknolojisinin, arkeolojik kontekstin korunarak belgelenmesinde etkili bir araç olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. "Arap Mezarlığı" olarak adlandırılan kazı alanında açığa çıkarılan mezar yerleşimlerinin, üç boyutlu (3D) model ile farklı bir bakış açısından görselleştirilmiş genel görünümü.

Görsellerde sunulan üç boyutlu modellerde, alanın yatay ve dikey düzlemdeki morfolojisi açıkça izlenebilmekte; yapı bloklarının boyutları, konumları ve aralarındaki mekânsal ilişkiler gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, taramanın herhangi bir GPS referansına bağlı olmadan gerçekleştirilmesine rağmen, iç mekân doğruluğunda yüksek bir bütünlük sergilediği gözlemlenmiştir. Tarama sırasında mobil cihazın hareket hızına ve tarama mesafesine bağlı olarak bazı bölgelerde nokta yoğunluğu azalmakla birlikte, genel yapı üzerinde anlamlı bir bozulma tespit edilmemiştir.

Sonuç olarak, elde edilen modeller, alanın arkeolojik belgelenmesi açısından tatmin edici bir

doğruluk ve detay düzeyine sahiptir. iPhone 15 Pro'nun entegre LiDAR sensörü ile yapılan bu uygulama, taşınabilirliği ve işlem kolaylığı sayesinde, hızlı ve düşük maliyetli üç boyutlu dokümantasyon için pratik bir çözüm sunmaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, mobil cihaz tabanlı LiDAR teknolojisinin arkeolojik alan belgelenmesinde pratik ve düşük maliyetli bir alternatif olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, iPhone 15 Pro'nun entegre LiDAR sensörünün, sınırlı bir menzil ve çözünürlükle de olsa, kazı alanlarının üç boyutlu belgelenmesinde temel düzeyde yeterli performans sergilediğini göstermektedir.

Mobil LiDAR sistemlerinin en büyük avantajı, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığıdır. Çoklu sensör entegrasyonu ve pratik veri toplama gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Saha koşullarında profesyonel LiDAR sistemlerine erişimin kısıtlı olduğu durumlarda, bu tür cihazlar araştırmacılara önemli bir esneklik sağlamaktadır. Tarama sırasında cihazın hareket ettirilmesiyle elde edilen nokta bulutu verileri, doku bilgisi ile birleştirildiğinde hem geometrik hem de görsel olarak tatmin edici modeller oluşturulabilmektedir.

Ancak, bazı teknik sınırlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle, iPhone 15 Pro LiDAR sensörünün maksimum menzilinin yaklaşık 8 metre ile sınırlı olması, geniş açık alanların belgelenmesini zorlaştırmakta ve çoklu tarama ile hizalama ihtiyacını artırmaktadır. Ayrıca, güneş ışığı, yüzey materyalleri ve tarama açısı gibi çevresel faktörler, nokta yoğunluğunu ve veri kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu durum, özellikle detaylı mimari elemanların belgelenmesi açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Çalışmanın yürütüldüğü Malazgirt Savaş Alanı, açık ve homojen bir topografyaya sahip olduğu için mobil LiDAR cihazının algılama kabiliyetleriyle uyumlu bir saha örneği teşkil etmektedir. Bu bağlamda, cihazın sabit hızla ve yüzeye yaklaşık 1-2 metre mesafede taşınarak kullanılması, veri kalitesini optimize etmiştir. Buna karşın, daha karmaşık ve çok katmanlı mimari yapılarda bu yöntemin hassasiyet ve detay düzeyi açısından yetersiz kalabileceği değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, mobil LiDAR teknolojileri; hızlı, erişilebilir ve görsel olarak güçlü sonuçlar üretmesi nedeniyle arkeolojik belgeleme süreçlerinde tamamlayıcı bir araç olarak önemli bir potansiyel taşımaktadır. Ancak bu sistemlerin profesyonel tarayıcılarla karşılaştırıldığında sınırlı çözünürlük, konumsal doğruluk eksikliği ve sınırlı menzil gibi teknik kısıtları dikkate alınarak kullanılması

gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, mobil LiDAR sistemlerinin diğer konumlandırma teknolojileriyle entegrasyonu sayesinde bu sınırlamaların aşılabileceğini göstermektedir. Özellikle gerçek zamanlı kinematik konumlandırma (RTK) ve GNSS destekli mobil cihazlar aracılığıyla nokta bulutu verilerinin mutlak koordinatlarla eşleştirilmesi, konum doğruluğunu iyileştirebilir. Bu yöntem, özellikle geniş alanlarda veya topografik eğimin yüksek olduğu bölgelerde modelin mekânsal referans bütünlüğünü korumada etkili olacaktır.

Teşekkür

Kültür ve Turizm Bakanlığı. Müzeler Daire Başkanlığı. Ahlat Müze Müdürlüğü.

Yazarların Katkısı

İskender Dölek: Yazılım, Saha Çalışması, Metodoloji, Modelleme, Yazım;

İhsan Tuğal: Yazılım, Metodoloji, Uygulama, Kontrol, Analiz, Yazım.

Adnan Çevik: Saha Çalışması, Kontrol, Analiz, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışma da herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Abbas, S. F., & Abed, F. M. (2024). Revolutionizing Depth Sensing: A Review Study of Apple LiDAR Sensor for as-built Scanning Applications. *Journal of Engineering*, 30(04), 175–199. doi:10.31026/j.eng.2024.04.11
- Alican, M. (2018). *Malazgirt Zaferi: Bin Yıllık Miras*. Kronik Yayınları.
- Antón, D., Mayoral-Valsera, J., Simón-Vallejo, M. D., Parrilla-Giráldez, R., & Cortés-Sánchez, M. (2025). Built-in smartphone LiDAR for archaeological and speleological research. *Journal of Archaeological Science*, 181, 106330. doi:10.1016/j.jas.2025.106330
- Askar, C., & Sternberg, H. (2023). Use of Smartphone Lidar Technology for Low-Cost 3D Building Documentation with iPhone 13 Pro: A Comparative Analysis of Mobile Scanning Applications. *Geomatics*, 3(4), 563–579. doi:10.3390/geomatics3040030
- Błaszczak-Bąk, W., Suchocki, C., Kozakiewicz, T., & Janicka, J. (2023). Measurement methodology for

surface defects inventory of building wall using smartphone with light detection and ranging sensor. *Measurement*, 219, 113286. doi:10.1016/j.measurement.2023.113286

Çetin, O. (2017). *Türk-İslam Devletleri Tarihi*. Düşünce Yayınları.

Chase, A. F., Chase, D. Z., Weishampel, J. F., Drake, J. B., Shrestha, R. L., Slatton, K. C., ... Carter, W. E. (2011). Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science*, 38(2). doi:10.1016/j.jas.2010.09.018

Comer, D. C., & Harrower, M. J. (2013). *Mapping Archaeological Landscapes from Space*. Mapping Archaeological Landscapes from Space (Vol. 5).

Dölek, İ. (2023). Dron Görüntüleri Kullanılarak Mezarların Gömü Mevsiminin Belirlenmesine Yönelik Bir Yöntem Denemesi: Malazgirt Projesi Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(1), 21–26. doi:10.51534/tiha.1206378

Dölek, İ., & Çevik, A. (2023). CBS kullanılarak savaş alanı arkeolojisi çalışmaları için bir veri tabanı oluşturulması: Malazgirt savaş alanının tespiti, tarihi ve arkeolojik yüzey araştırması projesi örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(2), 70–76. doi:10.56130/tucbis.1312340

Dölek, İ., & Çevik, A. (2023). Malazgirt Savaş Alanının Tespiti, Tarihi ve Arkeolojik Yüzey Araştırması Projesi Kapsamında Malazgirt İlçesi Sınırlarında Bulunan Kültürel Miras Eserlerin 3B Modellemesi: Bir Kültür Envanteri Çalışması. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 4(1), 43–48. doi:10.59127/kulmira.1294595

Furlani, S., Antonioli, F., Colica, E., D'Amico, S., Devoto, S., Grego, P., & Gambin, T. (2023). Sea Caves and Other Landforms of the Coastal Scenery on Gozo Island (Malta): Inventory and New Data on Their Formation. *Geosciences*, 13(6), 164. doi:10.3390/geosciences13060164

Gillihan, R. N. (2021). *Accuracy Comparisons of iPhone 12 Pro LiDAR Outputs*. University of Colorado.

Günen, M. A., Erkan, İ., Aliyazıcıoğlu, Ş., & Kumaş, C. (2023). Investigation of geometric object and indoor mapping capacity of Apple iPhone 12 Pro LiDAR. *Mersin Photogrammetry Journal*, 5(2), 82–89. doi:10.53093/mephoj.1354998

Janicka, J., & Błaszczak-Bąk, W. (2025). Various scenarios of measurements using a smartphone with a LiDAR sensor in the context of integration with the TLS point cloud. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 119(1), 14–22. doi:10.2478/rgg-2025-0003

Jeftha, K. J., & Shoko, M. (2024). Mobile phone based laser scanning as a low-cost alternative for multidisciplinary data collection. *South African Journal of Science*, 120(11/12). doi:10.17159/sajs.2024/15437

Kottner, S., Thali, M. J., & Gascho, D. (2023). Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic

- data at crime and crash scenes. *Forensic Imaging*, 32, 200535. doi:10.1016/j.fri.2023.200535
- Liang, D., Zhang, C., Zhang, P., Liu, S., Li, H., Niu, S., ... Huo, Y. (2024). Evolution of laser technology for automotive LiDAR, an industrial viewpoint. *Nature Communications*, 15(1), 7660. doi:10.1038/s41467-024-51975-6
- Neubauer, W., & Doneus, M. (2005). *Laser scanners for 3D documentation of stratigraphic excavations. International Workshop on Recording*. In E. Baltsavias (Ed.), *Modeling and Visualization of Cultural Heritage* (pp. 193–204). London.
- Opitz, R. S., & Cowley, D. C. (2013). *Interpreting Archaeological Topography*. (R. S. Opitz & D. C. Cowley, Eds.). Oxbow Books. doi:10.2307/j.ctvh1dqdz
- Özdemir, E., Erdal, K., Veziroğlu, F., & Ateş, S. S. (2022). The Use of the Backpack LiDAR System in the Generate of 3D Models in Salt Caves; The Example of Tuzluca, Iğdır. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 4(1), 36–42. doi:10.51489/tuzal.1112140
- Paukkonen, N. (2023). Towards a Mobile 3D Documentation Solution. Video-Based Photogrammetry and iPhone 12 Pro as Fieldwork Documentation Tools. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 6(1), 143–154. doi:10.5334/jcaa.135
- Polycam Uygulaması. (n.d.). Retrieved 18 June 2025, from <https://poly.cam/>
- Roux, J.-P. (2002). *Türklerin Tarihi- Pasifik'ten Akdenize 2000 Yıl*. İstanbul: Kabalcı Yayınevi.
- Saif, W., & Alshibani, A. (2022). Smartphone-Based Photogrammetry Assessment in Comparison with a Compact Camera for Construction Management Applications. *Applied Sciences*, 12(3), 1053. doi:10.3390/app12031053
- Sevim, A. (2023). *Malazgirt Meydan Savaşı*. Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Tavani, S., Billi, A., Corradetti, A., Mercuri, M., Bosman, A., Cuffaro, M., ... Carminati, E. (2022). Smartphone assisted fieldwork: Towards the digital transition of geoscience fieldwork using LiDAR-equipped iPhones. *Earth-Science Reviews*, 227, 103969. doi:10.1016/j.earscirev.2022.103969
- Teppati Losè, L., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Giulio Tonolo, F. (2022). Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. *Remote Sensing*, 14(17), 4157. doi:10.3390/rs14174157
- Tondo, G. R., Riley, C., & Morgenthal, G. (2023). Characterization of the iPhone LiDAR-Based Sensing System for Vibration Measurement and Modal Analysis. *Sensors*, 23(18), 7832. doi:10.3390/s23187832
- Tosun Çolak, Ş., & Çolak, A. T. (2023). Cam Kapların Mobil Uygulama ile 3B Modellenmesi: Aksaray Müzesinde Bulunan Amphoriskos ve Antropomorfik Kap Örneği. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 4(2), 72–78. doi:10.59127/kulmira.1381618
- Vinci, G., Vanzani, F., Fontana, A., & Campana, S. (2025). LiDAR Applications in Archaeology: A Systematic Review. *Archaeological Prospection*, 32(1), 81–101. doi:10.1002/arp.1931
- wingtra.com Erişim:29.09.2024. (n.d.). LIDAR ve Fotogrametri. Retrieved from <https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/>



© Author(s) 2025.

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