

e-ISSN
2717-6797

TÜRKİYE

LiDAR

DERGİSİ

Turkish Journal of LiDAR



Cilt/Vol: 4
Sayı/ Issue: 2
Aralık/December, 2022



Türkiye LiDAR Dergisi



Dergi Hakkında

Türkiye LiDAR Dergisi; LiDAR teknolojisini geliştirme, kullanım ve yer bilimleriyle ilgili çalışmaları yayınlayan ve Uluslararası Dizinler ve Veritabanlarında taranan hakemli bir dergidir. Dergi, LiDAR Sistemleri ve LiDAR Otonom Sistemleri vb. konular ve ayrıca LiDAR'ın tasarım ve uygulamalarına odaklanır.

Amaç & Kapsam

Türkiye LiDAR Dergisi,

- ✚ Yersel, hava ve mobil LiDAR kullanım alanında ulusal ve uluslararası gelişmeleri; Harita, Jeoloji, Çevre, Maden, Şehir Plancılığı, Ziraat vb. mühendislik alanı, Arkeoloji ve mimarlık ile ilgilenen bilim insanlarının bilgisine sunmak,
- ✚ Aşağıdaki konularla doğrudan veya dolaylı faaliyetlerde bulunan bilim adamları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasında bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak kolay erişilebilir ve geniş kapsamlı bir tartışma ortamı sağlamak.
- ✚ Dünyada ve Türkiye'de teknolojik ve ekonomik kalkınmada rol oynayabilecek mesleki gelişmelerle ilgili sorunların çözümünde büyük önem taşıyan LiDAR teknolojisi ile kurumlar arası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak.

Türkiye LiDAR Dergisinin kapsamı;

- ✓ Temel LiDAR Uygulamaları,
- ✓ LiDAR Platformları
- ✓ Yersel LiDAR Uygulamaları
- ✓ El Tipi LiDAR Uygulamaları
- ✓ Mobil LiDAR Uygulamaları
- ✓ Giyilebilir LiDAR Uygulamaları
- ✓ Hava LiDAR Uygulamaları
- ✓ İHA LiDAR Uygulamaları
- ✓ LiDAR Otonom Sistemleri
- ✓ LiDAR ile Arttırılmış Gerçeklik ve sanal gerçeklik (VR) uygulamaları,
- ✓ LiDAR verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu,
- ✓ LiDAR ile Belgeleme Çalışmaları
- ✓ LiDAR ile Endüstriyel ölçmeler,
- ✓ LiDAR ile Deformasyon ve Heyelan Ölçmeleri,
- ✓ LiDAR ile Madencilik Ölçmeleri,
- ✓ LiDAR ile Şehircilik ve Ulaşım Planları Çalışmaları,
- ✓ LiDAR ile Tarım Uygulamaları,
- ✓ LiDAR ile Hidrografik Uygulamaları,
- ✓ LiDAR ile 3D modelleme
- ✓ LiDAR ile açılan tüm multidisipliner çalışmalar,

Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

ISSN

2717-6797

WEB

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

İletişim

lidar@mersin.edu.tr / ayasinyigit@mersin.edu.tr /



Turkish Journal of LIDAR

About Journal

The Journal of LiDAR is a peer-reviewed journal that publishes studies on LiDAR technology development, use, and earth sciences and is scanned in International Indexes and Databases. The journal, LiDAR Systems, and LiDAR Autonom Systems, etc. focuses on the design and applications of LiDAR, including.

Aim & Scope

Turkish Journal of LIDAR,

- ✚ To present international developments in the use of terrestrial, wearable, UAV, air, and mobile LIDAR to the information of scientists interested in the fields of Map, Geology, Environment, Mining, Urban Planning, Agriculture, archeology, and architecture.
- ✚ To provide an easily accessible and wide-ranging discussion environment that will strengthen and accelerate the sharing of knowledge and experience between scientists, researchers, engineers, and other practitioners who are involved in direct or indirect activities with the following topics.
- ✚ To contribute to the initiation and development of inter-institutional cooperation with LiDAR technology, which is of great importance in solving problems related to professional developments that can play a role in technological and economic development in the world and in Turkey.

The scope of Turkish Journal of LIDAR;

- ✓ Basic LIDAR Applications,
- ✓ LiDAR Platforms
- ✓ Terrestrial LiDAR Applications
- ✓ Hand-Held LiDAR Applications
- ✓ Mobile LiDAR Applications
- ✓ Wearable LiDAR Applications
- ✓ Air LiDAR Applications
- ✓ UAV LiDAR Applications
- ✓ LiDAR Autonomous Systems
- ✓ Augmented Reality and virtual reality (VR) applications with LiDAR,
- ✓ Geographical Information Systems integration with LiDAR data,
- ✓ Documentation Studies with LiDAR
- ✓ Industrial measurements with LiDAR,
- ✓ Deformation and Landslide Measurements with LiDAR,
- ✓ Mining Measurements with LiDAR,
- ✓ Urbanism and Transportation Planning Studies with LiDAR,
- ✓ Agricultural Applications with LiDAR,
- ✓ Hydrographic Applications with LiDAR,
- ✓ 3D modeling with LiDAR
- ✓ All multidisciplinary studies conducted with LiDAR,

Publication frequency

Biannual (June-December)

ISSN

2717-6797

WEB

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

Contact

lidar@mersin.edu.tr / ayasinyigit@mersin.edu.tr /



Türkiye LiDAR Dergisi
Turkish Journal of LiDAR

EDİTÖR / EDITOR

Abdurahman Yasin Yiğit

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Mersin, Türkiye

EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

- **Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**, Aksaray University
hmuraty@gmail.com,
- **Assoc. Prof. Dr. Murat UYSAL**, Afyon Kocatepe University
muysal@aku.edu.tr,
- **Assist. Prof. Dr. Bilgehan KEKEÇ**, Konya Technical University
kekec@ktu.edu.tr,
- **Dr. Nizar POLAT**, Harran University
nizarpolat@harran.edu.tr,
- **Dr. Hayri ULVI**, Gazi University
hayriulvi@gmail.com,
- **Dr. Alper AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University,
alperakar@erzincan.edu.tr,
- **Dr. Özlem AKAR**, Erzincan Binali Yıldırım University
oakar@erzincan.edu.tr,
- **Dr. Mehmet Ali DERELİ**, Giresun University
madereli@gmail.com
Giresun University
- **Dr. Mustafa Zeybek**, Selçuk University
mzeybek@selcuk.edu.tr

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

- **Prof. Dr. Murat YAKAR**, Mersin University
myakar@mersin.edu.tr,
- **Prof. Dr. İbrahim YILMAZ**,
iyilmaz@aku.edu.tr,
Afyon Kocatepe University
- **Dr. Resul ÇÖMERT**,
rcomeri@gumushane.edu.tr,
Gümüşhane University

LiDAR Dergisi Dil Editörleri / LiDAR Journal Language Editors

Res. Asst. Halil İbrahim ŞENOL, Harran University
hse nol@harran.edu.tr

Mizanpaj

Res. Asst. Yunus KAYA, Harran University
yunuskaya@harran.edu.tr

İçindekiler

Contents

Araştırma Makaleleri; Research Articles**;

Sayfa/Page No	Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name
37-52**	<i>Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi</i> <i>Wearable Mobile LiDAR Usage Areas and 3D Modeling of Cambazlı Church</i> Atilla Karabacak & Murat Yakar
53-59**	<i>Havasal LiDAR Nokta Bulutlarından Kentsel Yol Ağlarının Çıkarımı, Bergama Test Alanı</i> <i>Extraction of Urban Road Networks from Aerial LiDAR Point Clouds, Bergama Test Site</i> Mustafa Zeybek
60-70**	<i>Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin Yersel Lazer Tarama Teknikleri ile Üç Boyutlu Modelinin Oluşturularak Sanal Gerçekliğe Hazırlamanın Değerlendirilmesi</i> <i>Evaluation of Preparation for Virtual Reality by Creating a Three-Dimensional Model of Tarsus St. Paul Church with Terrestrial Laser Scanning Techniques</i> Şafak Fidan & Ali Ulvi
71-84**	<i>Kagir Yapılardaki Taş Malzeme Bozulmalarının Lidar Tarama Yöntemi ile Belgelenmesi: Geleneksel Silvan Konağı Vaka Çalışması</i> <i>Documentation of Stone Material Deterioration in Masonry Buildings by Lidar Scanning Method: A Case Study of Traditional Silvan Mansion</i> Lale Karataş & Aydın Alptekin

Derleme Makaleleri; Review Articles*;

S. No	Makale Adı (Tr./En.) ve Yazar Adı
85-90*	<i>Yersel Lazer Tarayıcıların Arkeolojik Alanlardaki Kullanımının İncelenmesi</i> <i>Investigation of the Use of Terrestrial Laser Scanners in Archaeological Fields</i> Müjdet Güngör



Giyilebilir Mobil LİDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi

Atilla Karabacak^{*1}, Murat Yakar²

¹Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mersin, Türkiye

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

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama,
Giyilebilir Mobil Lidar,
Fotogrametri,
Lazer Tarama,
3B.

ÖZ

Son 20 yılda navigasyon sistemleri ve teknolojiadaki hızlı değişim, sensörlerin hayatımıza daha fazla girmesi, nokta bulutu ile çok karmaşık yerlerin kolayca algılanabilmesi, haritacılık mesleğinde çevreyi haritalayan yeni sistemleri de beraberinde getirmiştir. Einstein bahsettiği lazer İngilizce adı laser; (Light amplification by Stimulated Emission of Radiatin), 1960 yılında Maiman tarafından ispat edildi ve 1993 yılında ilk ticari Light Detection And Ranging (LiDAR) uçaktan denizaltıları tespit etmek için kullanıldı. 2000 yıllarından sonra mobil LiDAR kullanılmaya başlandı her türlü hareket eden araçlara takılarak havada, karada ve denizde veri toplanmaya başlandı, son yıllarda araçların giremediği yerler için ise bir insanın üzerine giyilebildiği mobil LiDAR kullanılmaya başlandı. Bu çalışmada bu teknolojiyle ilgili yapılan çalışmalar incelenerek Giyilebilir Mobil Lidarın (GML) kullanım alanları araştırılmıştır. GYM ile tarihi Cambazlı Kilisesinin Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılarak 3 Boyutlu (3B) modeli ve ortofotusu hata sınırları içerisinde başarıyla oluşturulmuştur.

Wearable Mobile LiDAR Usage Areas and 3D Modeling of Cambazlı Church

Keywords

Remote sensing,
Wearable Mobile Lidar,
Photogrammetry,
Laser Scanning,
3D.

ABSTRACT

In the last 20 years, the rapid change in navigation systems and technology, the introduction of sensors into our lives, the easy perception of very complex places with point cloud, have brought new systems that map the environment in the cartography profession. The laser that Einstein mentioned is laser in English; (Light amplification by Stimulated Emission of Radiatin) was demonstrated by Maiman in 1960, and in 1993 the first commercial Light Detection And Ranging (LiDAR) was used to detect submarines from aircraft. After 2000, mobile LiDAR started to be used, and data was collected in the air, on land and at sea by attaching to all kinds of moving vehicles. In this study, the usage areas of Wearable Mobile Lidar (WML) were investigated by examining the studies on this technology. Using the Ground Control Point (GCP) of the historical Cambazlı Church with WML, the 3-Dimensional (3D) model and orthophoto were successfully created within the error limits.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(atllakarabacak@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1096-3949
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Karabacak, A. & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. Türkiye Lidar Dergisi, 4(2), 37-52

1. Mobil LİDAR

Mobil LİDAR hava araçları dışında, hareketli olan araç ya da insanlar üzerine yerleştirilmiş platformdan lazer tarama yapılmasını ifade eder. Sistem bir minibüs, kamyonet, tren, gemi vb. araçlar üzerine monte edilmiş ise araçlı mobil adını alır. Yine elde küçük nesnelere (otomobil, heykel vb.) taramasını yapmak için olanlarına; el tipi mobil tarayıcı denir. Son olarak bir insan platformu üzerine giyerek tarama yapıyorsa; GML denir.

2. YÖNTEM

2.1. Araçlı Mobil LİDAR

Genellikle herhangi bir mobil LiDAR sisteminde: bir mobil platform, bir lazer tarayıcı, bir Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri "Global Navigation Satellite Systems" (GNSS) anteni ile birlikte bir atalet ölçüm sistemi "Inertial Measurement Unit" (IMU), dijital kameralar ve tekerlek monteli Mesafe Ölçüm Göstergesini "Distance Measurement Indicator" (DMI) entegre eden bir navigasyon çözüm sistemi; veri depolarını içeren ve tüm sensörlerin işlevini entegre eden bir kontrol sistemini bünyesinde bulundurur (Guan vd., 2016). GNSS, bir kara konumlandırma sisteminin temel bileşenidir ve santimetreye kadar doğruluğu sağlayabilir; ancak GNSS sinyali birçok faktöre bağlı olarak ara ara kesilebilir; örneğin tüneller, yüksek binalar, duvarlar ve ağaç tepeleri vb. nedenlerle tüm bir mobil tarama boyunca GNSS sinyalini korumak neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle mobil LiDAR sistemleri, periyodik düzeltmeler almak için GNSS'ye dayanan IMU'lar kullanır. GNSS alıcıları zaman, konum ve hızı ölçer. Konum ve hızı bilgisayar haricinde IMU'ya gönderir, IMU GNSS'den aldığı son konumdan kısa sürede ivmeölçer ve Jiroskoplara konum ve hızlar hesaplanır ve GNSS sinyallerinin kötü olduğu yerlerde sistem IMU tarafından beslenir. Ayrıca, aracın tekerleklerinden birine bağlı olan DMI, tekerlek dönüşlerini ölçerek kat edilen mesafeyi hesaplar. DMI; GNSS ve IMU'nun ek konumlandırma bilgisiyle güvenilirliğini artırır. Ayrıca DMI, araç durması durumunda yinelenen LiDAR verilerinin azaltılmasını sağlar. GNSS ise IMU'ya güncellenmiş konum bilgisi sağlar (Puente vd., 2013). Mobil lazer taramanın plan görünümü şekil 2.1,2'de gösterilmiştir.

Mobil lazer taramadaki konum hesabı aşağıda verilen (1) bağıntısıyla ifade edilebilir (Barber vd., 2008).

$$r_p^m = r(t)_{GPS}^m + R(t)_{IMU}^m (r_s^{IMU} - r_{GPS}^{IMU} + d_p^s R_s^{IMU} \hat{r}(t)_p^s) \quad (1)$$

r_p^m ; obje noktasının konum vektörüdür.

$r(t)_{GPS}^m$; t anındaki GPS anteninin konum

vektörüdür.

$R(t)_{IMU}^m$; IMU çerçevesi arasındaki dönüş matrisidir.

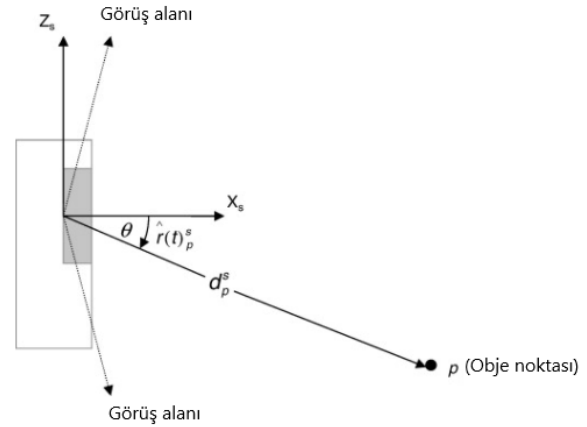
r_s^{IMU} , sensörün IMU'daki konum vektörüdür.

r_{GPS}^{IMU} ; IMU içinde GPS anteninin konum vektörüdür.

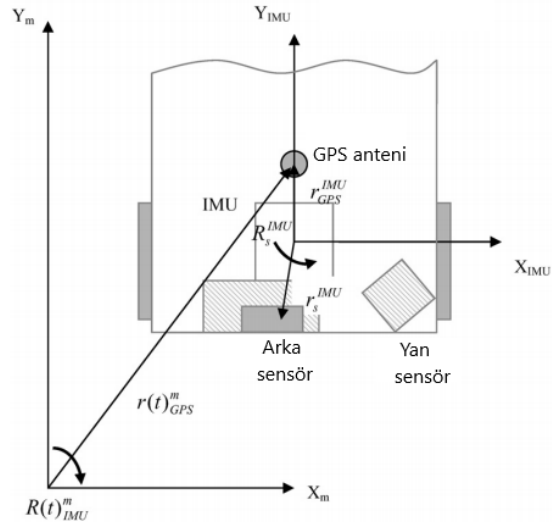
d_p^s ; sensör tarafından objeye gözlemlenen aralıktır.

R_s^{IMU} ; IMU ve sensör çerçevesi arasındaki dönüş matrisidir.

$\hat{r}(t)_p^s = \begin{pmatrix} \cos\theta \\ 0 \\ \sin\theta \end{pmatrix}$; zaman sensör çerçevesi obje noktası yönünde birim vektörü nokta t θ tarama açısıdır (Barber vd., 2008).



Şekil 2.1. Lazer taramada iki boyutlu plan görünümü (Barber vd., 2008).



Şekil 2.2. GPS anteni, IMU ve lazer profil oluşturucu plan görünümü (Barber vd., 2008).

Mobil lazer taramada konum vektörü aşağıda verilen (2) bağıntılardan hesaplanır (Guan vd., 2016).

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix}^m = \begin{bmatrix} X_{GNSS} \\ Y_{GNSS} \\ Z_{GNSS} \end{bmatrix}^m + R_{IMU}^m(w, \varphi, K) \cdot \left(R_s^{IMU}(\Delta w, \Delta \varphi, \Delta K) \cdot r_p^s + \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix}_{GNSS}^{IMU} - \begin{bmatrix} L_x^{G/I} \\ L_y^{G/I} \\ L_z^{G/I} \end{bmatrix}_{GNSS}^{IMU} \right) \quad (2)$$

X_p, Y_p, Z_p ; Eşleme çerçevesinde hedef P'nin konumu.

$X_{GNSS}, Y_{GNSS}, Z_{GNSS}$; GNSS anteninin haritalama çerçevesindeki konumu.

$R_{IMU}^m(w, \varphi, K)$; IMU ve haritalama çerçevesi arasındaki döndürme matrisi, (w, φ, K) yerel haritalama çerçevesine göre sensörün yuvarlanması, eğimi ve yalpalamasıdır. Bu değerler IMU sistemi tarafından sağlanmaktadır.

$R_s^{IMU}(\Delta w, \Delta \phi, \Delta K)$; Lazer tarayıcı ve IMU arasındaki rotasyon matrisi, $(\Delta w, \Delta \phi, \Delta K)$ tarayıcı çerçevesini IMU'nun gövde çerçevesiyle hizalayan ön görüş açılarıdır. Bu değerler sistem kalibrasyonu ile belirlenir.

$r_{p(ad)}^s$; Lazer tarayıcı koordinat sistemindeki P Noktasının görelî konum vektörü, lazer tarayıcı tarafından ölçülen ve döndürülen tarama açısı ve aralığı için α ve d .

L_x, L_y, L_z ; Navigasyon ve IMU orijininin lazer tarayıcı orijinine ofsetleri. Bu değerler sistem kalibrasyonu veya ölçümü ile belirlenir.

$L_x^{G/I}, L_y^{G/I}, L_z^{G/I}$; IMU orijininin GNSS orijinine ofsetleri. Bu değerler sistem kalibrasyonu veya ölçümü ile belirlenir (Guan vd., 2016).

Uzun menzilli darbe tabanlı lazer tarayıcı üreticilerinin bazıları Velodyne, Optech Lynx, RIEGL, Leica ve Trimble markaları sayılabilir. Faz ölçümüne dayalı kısa menzilli lazer tarayıcı üreticilerinin bazıları Z+F ve Faro markaları söylenebilir (Alptekin & Yakar, 2020b; Altuntaş vd., 2007; Doğan & Yakar, 2018).

Aşağıda Tablo 2.1'de bazı lazer tarayıcıların özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Örnek lazer tarayıcıların teknik özellikleri (Alptekin & Yakar, 2020a)

Lazer tarayıcı	RIEGL VQ-450	Optech Lynx SG1	Z + F PROFİL 9012	Faro Odak x330	Velodin HD64
Veri hızı (MHz)	0.550	0.150-1.200	1	0.976	1.333
Tarama hızı (Hz)	200	500	200	97	5-15
Görüş açısı (°)	360	360	360	360(Y) 300(D)	360 (Y)/26.8(D)
Menzil (m)	800 (80 yansıtma) 70 (10 yansıtma)	250 (10 yansıtma)	119	0,6-330	120 (80 yansıtma) 50 (10 yansıtma)
Mesafe hassasiyeti (mm)	5	5	1	1	10
Mesafe doğruluğu (mm)	8	±50	1	±2	<50
Lazer tipi	Darbe tabanlı	Darbe tabanlı	Faza dayalı	Faza dayalı	Darbe tabanlı

Şekil 2.3'te araca monte edilmiş mobil LİDAR ve tekerlek sayacı görülmektedir.



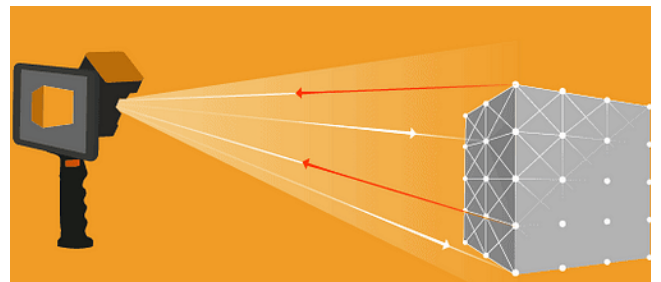
Şekil 2.3. Farklı araçlara monte edilmiş mobil lazer tarayıcılar (Paksoytekniik, 2021; Yu, 2014).

2.1.1. Araçlı Mobil LİDAR Kullanım Alanları

İlk mobil LiDAR sisteminin ortaya çıkışı 2003 yılıdır. Mobil bir LiDAR sistemi ile harita mühendisleri bir otoyolda, kırsal yolda, demiryolunda, bir nehir veya gölün kıyı şeridinde araç kullanarak veri toplayabilir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verisi almada, 3B şehir modellerinin hazırlanmasında, her türlü mühendislik çalışmalarında, sanal şehir turlarında, emniyet kuvvetlerince, belediye hizmetlerinde ayrıca yol boyunca, ağaçları, köprüleri, sokak lambalarını, binaları, elektrik hatlarını ve diğer yol işaretlerini, asfalttaki çatlaklar, istinat duvarlarını, barbakanları, şev, hendek vb. tüm ayrıntıları 3B nokta bulutu olarak koordinatlarıyla kayıt altına alır (Guan vd., 2016; Paksoytekniik, 2021; Yu, 2014).

2.2. Giyilebilir Mobil LİDAR (GML)

GML bir insanın üzerine genellikle bir sırt çantası vasıtasıyla giyerek taşıdığı ve bir tablet bilgisayar üzerinden gezerken mobil LİDAR taşıyıcı operatör tarafından izlenebilen gezilen yerlerdeki menzile içinde kalan objelerin 360°, 3B nokta bulutu olarak verilerin kaydedildiği bir sistemdir (Şekil 2.5,6,7). İnsan tarafından taşınabilen mobil LİDAR'ın elde ya da sırt çantasında taşınan modelleri piyasada mevcuttur. El tipi olanlar daha küçük sensörler içerdiğinden kaliteli veri alma konusunda sırt çantasında taşınanlar kadar iyi değildir. Giyilebilir mobil; LİDAR sensörü, RGB kamera ve GNSS-IMU bünyesinde barındıran, her türlü ışık koşulunda çalışabilen kompakt sistemlerdir. Tam 360° panoramik görüntüleri yakalayabilen LİDAR sensörleri farklı markalarda 100 - 200 m vb. menzile sahiplerdir. Şekil 2.4'de bir LİDAR ışığı ile aydınlatılan nesneye çarpan ışınların yansımalarına kadar geçen süreden mesafelerinin hesaplanması ve noktalardan oluşan üçgen model üzerinden yüzeylerin belirlenmesiyle 3B model oluşturulması gösterilmiştir (NAVVIS, 2021; Lauter, 2020; GEXCEL, 2021; Geoslam 2021).



Şekil 2.4. Mobil LİDAR ile taranmış bir tünelin 3B nokta bulutu (Geoslam 2021).

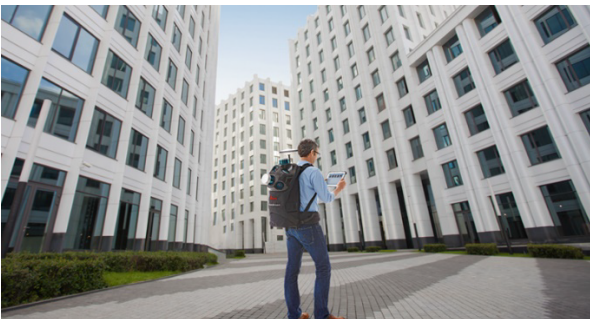
Sistem bir insanın sırtında taşındığından dar ve karmaşık yapılarda kolayca hareket edilerek çalışılabilir. Ayrıca çalışma sahasına giderken arabanın bagajına konarak kolayca taşınabilir. GML insan yürüyebildiği her türlü mekânda kullanılacak şekilde tasarlanmıştır; örneğin iç ve dış mekânlar, yeraltı madenleri tüneller, kültürel miras alanları, ormanlar, kentsel alanlar, binalar ve olay yerinin kayıt altına alınması vb. zorlu ve karmaşık alanlarda çözüm olması için tasarlanmış bir sistemdir (NAVVIS, 2021; Lauter, 2020; GEXCEL, 2021; LEICA, 2021). Farklı firmalara ait giyilebilir mobil LİDAR tarayıcılar Şekil 2.5,6,7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. GEXCEL Heron GML tarayıcı (GEXCEL, 2021).



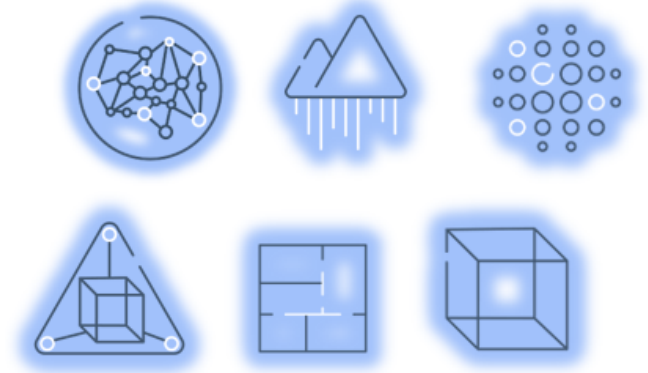
Şekil 2.6. Navvis GML tarayıcı bir gemi müzesinde tarama yaparken (Lauter, 2020).



Şekil 2.7. Leica Pegasus Backpack GML tarayıcı kentsel alanda tarama yaparken (LEICA, 2021).

Üstü kapalı mekânlarda GNSS çalışmadığından, açık gökyüzü görünmediği yerlerde konumlandırma için başka yöntemler gereklidir. Eş zamanlı yerleştirme ve haritalama "Simultaneous Localization And Mapping" (SLAM); 2008 yılında geliştirildi, sistem mobil yani hareketle aktif olur, bilinmeyen bir ortamın haritasını

oluştururken aynı zamanda oluşturduğu haritayı farklı konumlara göre iyileştirerek ilerler, ortamda gezinirken sorunu çözmeye yönelik algoritmik bir girişim sunar. SLAM, sayesinde mobil robotik gezinirken bilinmeyen çevreyi algılayarak oluşturulan haritada kendini konumlandırarak ilerler. SLAM LİDAR'dan gelen mesafelerle, bulunduğu sahnede kendini konumlandırır. Bunu yapması için LİDAR, GPS, ivmeölçer, sensörler, algoritma, veri vb. gereklidir. SLAM sayesinde GPS sinyallerinin çekmediği; mağara, tünel, kapalı madenler, bina içleri konumlandırılabilir, ayrıca açık alanlarda da orman içleri, kanyonlar, kent içi yüksek binaların olduğu caddelerde de GPS sinyalleri bozulduğundan çözüm olmaktadır. SLAM teknolojisi zor ve karmaşık alanların ölçümü için devrim yaratmıştır. Göreceli ve mutlak konumlandırma girdilerini alan SLAM giyilebilir mobil LİDAR'ın her yer değişiminin anlık konumunu hesaplar ancak bu şekilde hesaplanan konumunun statik bir konum kadar hassas olması beklenemez (Geoslam, 2021; Thomson, 2020; Thomson, 2021; Yılmaz & Yakar, 2016a). SLAM teknolojisinde birçok farklı bakış açısıyla farklı algoritmalar oluşturulabilmesi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. SLAM için farklı algoritmalar geliştirilebilir (Geoslam, 2021).

Elde edilen kartografik verilerin kalitesi için sahada dikkat edilecek hususlar; (Filippo, vd., 2018; Stefano, vd., 2021; Chio ve Hou, 2021).

2.2.1. GML Dikkat Edilecek Hususlar

- Çalışma sahası önceden gezilerek kritik yerler belirlenir yürüme yolundaki engeller kaldırılır;
- Alet Operatörünün güvenli geçişini sağlamak için katlar arasındaki kapı veya merdiven gibi tüm bağlantılara kolayca geçilebilir hale getirin yani kapıları açın;
- Tarama sırasında hareketli nesnelere kaçınm ve bununla ilgili önceden önlem alın;
- İyi bir kapsama alanı ve yüksek çözünürlüklü bir veriye sahip olmak için yavaş yürüyün. İleri hareket çok hızlıysa, SLAM algoritmasının ham lazer verilerini bir nokta bulutuna dönüştürmesi için yeterli zaman olmayabilir;
- Yavaş hareket edilmesi gereken geçiş alanlarına koridordan odaya girerken her iki tarafı aynı anda görmesi için iyice yavaşlanmalıdır;

- Işık farkı olan kapalı yerden açığa ya da tam tersi durumunda da yine her iki taraf görünecek şekilde iyice yavaşlanarak geçilmelidir;
- Çalışma sahasında birbirine benzer sahneler varsa; benzer koridordan birine bir kutu koymak veya boş otoparka bir araba koyarak sahneleri farklılaştırmak;
- Yürürken dönüşleri dairesel yapmak;
- Çıktığımız merdiven yerine inerken başka merdivenden inmek, eğer kapalı mekânda ikinci bir kapı varsa birinden girip diğerinden çıkarak sahneleri farklılaştırmak;
- Başlangıç ve bitiş noktalarının aynı nokta olmasına dikkat edilmesi;
- Ani hareketlerden kaçınmak;
- Hassasiyet istenen yerlerde yürüme hızı düşürülmesi;
- Büyük çalışma sahalarını daha küçük adalara bölerek çalışın; böylece hem büyük dosya boyutundan kurtulun hem de sahayı küçülterek SLAM verilerinde olabilecek hata miktarından kaçınılabilir;
- Her tarama oturumu 30 dakikayı geçmeden tamamlamak önerilir.

2.2.2. Gexcel Heron Giyilebilir 3B Mobil Haritalama Sistemi

2015 yılında geliştirilen, giyilebilir veya el tipi kullanılabilir bir mobil lazer tarayıcıdır. SLAM Algoritması kullanır. Her türlü yürünebilen alanlarda kullanılabilir. İç ve dış mekân, yer altı madenleri, jeo-uzamsal uygulamalar, yapılar, tüneller, kültürel miras alanları, adli olaylar, ormanlar, kentsel alanlar vb. kullanılabilir. Hem geometri hem de renk bilgilerini birlikte toplamak için 3B nokta bulutları ve 5K panoramik görüntüler alabilir.

Bu çalışmada test edilen taşınabilir Mobil lazer tarayıcı Gexcel tarafından üretilen Heron giyilebilir Lidar cihazıdır. 903 nm dalga boyunda kızılötesi lazer ışınları yayan 16 kanallı bir Velodyne Puck LITE lazer tarayıcı ve 360° yatay görüş ve 30° dikey görüşten tek dönüş modunda 300.000 nokta/saniye elde edilmesini sağlar. Menzil ölçümler, 100 m'lik maksimum ölçülebilir mesafe ile uçuş süresi prensibi ile gerçekleştirilir. Lazer tarayıcı sensörü, verileri sistem yörünge tahmininde kullanılan bir XSens MTI, IMU ile birleştirilir. Anket yapılırken, tarama kafa teleskopik bir karbon fiber direğe monte edilir, bir bataryaya ve bir kontrol ünitesine bağlanır.

Aşağıda Şekil 2.9'da verilen Gexcel Heron giyilebilir 3B mobil haritalama sisteminin ekipmanları gözükmektedir. Lazer sensörünün olduğu tarayıcı kafa bir jalon üzerine vidalanarak kullanılır. Tarayıcı kafadan çıkan kablo bağlantısı güç için batarya, veri alışverişi ve program için tablete bağlanır. Tablet içerisindeki Heron live programıyla cihaz kontrol edilir ve yönetilir. Tablet ekranından yapılan nokta bulutu anlık durumu gözükür ve mobil LİDAR operatörü ekranda olası bir sorun olduğunda iş durdurarak gerekirse başa dönerek işi tekrarlar. LiDAR'ı tutan jalon kemere takılı cebe konularak kullanılabilirliği gibi el ile dik bir şekilde tutarakta kullanılabilir.



Şekil 2.9. Heron GML

Bazı özellikleri (PaksoytekniK, 2022):

- Döngü kapatma zorunlu değil,
- Başlatma prosedürü gerekli değil,
- Her ışık koşulunda kullanım,
- Mevcut olduğunda referans modelde otomatik yerleştirme,
- SLAM sürecine özgü sürüklenme efektlerinde büyük azalma (patentli algoritmalar)

Üreticinin özelliklerine göre, sistem 3 cm'lik bir yerel doğruluk ve nihai 5 cm bir küresel doğruluk sağlar, döngü ve kapanışların varlığından ayrıca taranan ortamın özelliklerinden SLAM algoritması etkilenebilir ve doğruluk 20-50 cm'ye düşebilir. Kullanılan GML 'ın teknik özellikleri Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Heron Lite Color Teknik Özellikleri (PaksoytekniK, 2022).

Nitelik	Değer
Uygun Ortam	İç mekân/ Dış mekân
Elde taşınır	Evet
Giyilebilir	Evet
Çeşitli mobil platformlara monte edilebilir.	Evet
(bisiklet, tekne vb.)	
Panoramik kamera	Var
IMU	Var
SLAM	Var
SLAM Algoritmasıyla işlem sonrası yazılımı	Var
(Heron Desktop)	
Gelişmiş nokta bulutu işleme yazılımı (Reconstructor)	Var
2B Harita Ölçümü için ücretsiz Araç (GeoBlueprint)	Var
Çıktı formatları	E57,LAS, PLY
LİDAR Sensörü	Velodyne VLP 16
Lazer dalga boyu	903 nm
Lazer sensörü açılabilir görüş alanı	Yatayda 360°, düşey -15°+15°
Menzil	80-100 m
Tarama Hızı	Saniyede 300 000 nokta
Bölgesel doğruluk	~ 3 cm
Maksimum ölçüm çözünürlüğü	~ 2 cm
Genel doğruluk	~ 5 cm
Veri depolama	256 GB
Çalışma saati	~ 5/7 saat
Çalışma sıcaklığı	-10° C ile +45° C arası
Saklama sıcaklığı	-40° C ile +60° C arası

Çalışma İçin Uygun Hava Koşulları

- Doğrudan güneş ışığı.
- Rüzgâr.
- Karanlık yerler (panoramik kamera kullanılacaksa yapay aydınlatma gereklidir).
- -10o C' den +45o C'ye kadar çalışma sıcaklığı.

Çalışma İçin Uygun Olmayan Hava Koşulları

- Yağmur, kar, yoğun yağışlar.
- Çok tozlu ortamlar.
- Agresif atmosfer 500 m/s2 den büyük genellikle 11 ms süren sarsıntı.
- Güçlü elektromanyetik alanlar.
- Cihaza gelen su cihazı bozacaktır.

Tarama Esnasında Dikkat Edilecek Hususlar

- Sensörü sallamayın.
- Sıçramayın.
- Ani hareketlerden kaçın.
- Tarama yaparken ve kalibrasyon yaparken lazer sensör başlığına bağlı kabloların, izleyeceğinize yola göre her zaman sağa baktığından emin olun. Kablo yönü değişirse IMU etkilenir.
- Tarama esnasında jalon dik tutulmalıdır.

2.2.3. GML Beklenen Doğruluk

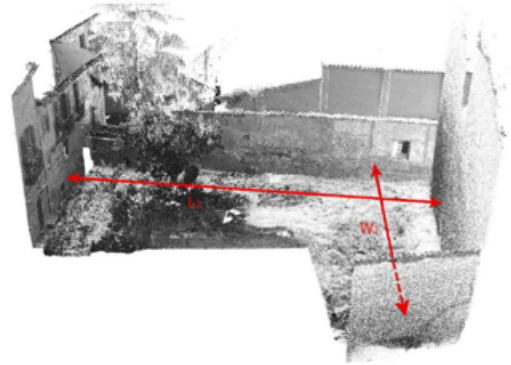
Leica, Viamentris, 3D Laser Mapping ve GreenValley şirketleri doğal olarak çözümlerinin kilometre sayacını nasıl tahmin ettiğini ve LiDAR verilerinin 3D modele hizalanmasını yayınlamamaktadır. Bu sistemlerin hassasiyeti artırmak için GNSS/INS yardımını kullandığını biliyoruz (Velas, vd., 2019). Atalet Seyrüsefer Sistemi "Inertial Navigation System" (INS); ivmeölçer ve açıölçer sensörleri kullanarak, hareket halindeki bir aracın (uçak, füze, taşıt, denizaltı, insan vs ...) mutlak konumuna karar verir. Bağımsız çalışma özelliğine sahip olup, herhangi bir elektromanyetik yaymadan çalışır. Çalışma prensibi, referans olan bir başlangıç noktasından itibaren; sürekli hız, ivme ve açı hareketlerini ölçerek gidilen noktadaki konumu bulur, GNSS sistemini destekleme amaçlı kullanılır (Çetin, 2004). Leica Pegasus, GNSS mevcut olduğunda 10 dakikalık yürüyüşten sonra 5 cm'ye ve GNSS yardımı olmadan 5-50 cm'ye kadar hassasiyet elde edebilmektedir. 3B veri kaynağı olarak 2 Velodyne LiDAR tarayıcı ve ek beş yüksek çözünürlüklü kamera seti kullanılmaktadır (LEICA, 2021). Viamentris sırt çantalı mobil Lidar uygun uydu alım koşulları altında 5 cm'den daha az mutlak doğrulukla renklendirilmiş nokta bulutları üretebileceği bildirilmiştir. GNSS sinyallerinin olmadığı alanlarla ilgili ise hassasiyeti verilmemiştir (Ulvi vd., 2015). Zeb Horizon el tipi mobil LiDAR'ın dış ortamda uygun koşullarda 6 mm göreceli hassasiyette çalışabildiği bildirilmiş kapalı mekanlarda hassasiyeti ile ilgili broşürde bilgi bulunamamıştır (Yakar, 2011; Yılmaz vd., 2009; Alptekin & Yakar, 2021). Gexcel Heron, Velodyne VL16 LiDAR sensörü kullanır sistem 3 cm'lik yerel doğruluk ve 5 cm küresel doğruluk sağlar, kapalı alanlarda SLAM algoritmasının etkinliğine bağlı olarak doğruluk 20-50 cm'ye düşürülebilir (Yakar & Doğan, 2017; Alptekin vd., 2022).

3. GML KULLANIM ALANLARI

GML esasen araçlı mobil LiDAR'ın giremediği dar ve ağaçlık yerler ile yapı içi, kapalı maden ve tünel vb. GPS sinyallerinin alınmadığı ve bir insanın yürüyerek geçebileceği alanlarda kullanılmak için tasarlanmıştır.

3.1. Kültürel Mirasın Belgelenmesi

Andrea Di Filippo ve ark. 2018 yılında kültürel miras alanında GML kullanarak İspanyanın Segovia şehrinde gotik bir harabenin modellemesini yaparak kayıt altına almışlardır. Modelle arazide ölçülen baz uzunluğu arasında 3 cm fark ile 3B nokta bulutu oluşturmuş ve bu alanda GML'in kullanılabilirliğini göstermişlerdir (Şekil 3.1) (Yakar vd., 2005; Korumaz vd., 2011; Yakar vd., 2010b; Oruç & Baş, 2021).

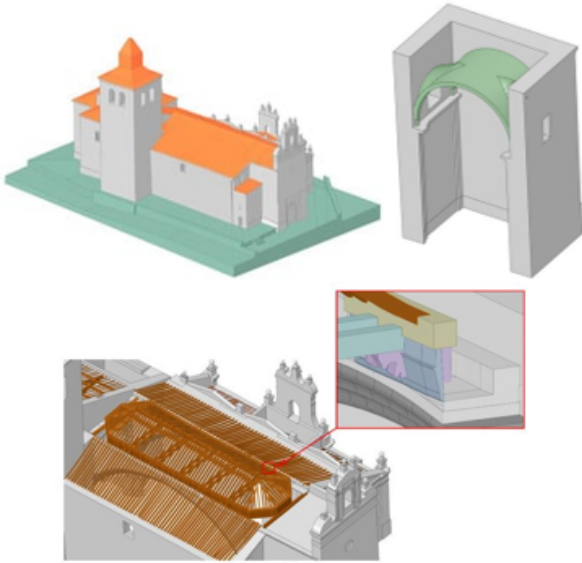


Şekil 3.1. Birinci şekil doğruluk değerlendirme için ölçülen mesafeler, ikinci şekil nokta bulutunu göstermektedir (Karataş vd., 2022).

Andrea Masiero ve ark., 2018 yılında İtalya Padua'daki bir ortaçağ kalesinin iç mekân araştırmalarını; fotoğraf kamerası ve Agisoft PhotoScan ile elde edilen fotogrametrik yöntemle ve GML yöntemi karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma iç mekânda mutlak hatanın GML ile en düşük olduğunu gösterdi. GML maliyeti açısından, fotogrametri yönteminin fazla nokta yoğunluğu istenmeyen işlerde ekonomik olduğundan dolayı tercih edilmesi önerilmiştir (Yakar vd., 2010a; Oruç & Öztürk, 2021).

M. Rodríguez-Martín ve ark. 2022 yılında İspanya Avila'da tarihi Adanero Kilisesi'nin giyilebilir mobil haritalama sistemiyle modellemiş ve ayrıntılı 3B çizimlerini yapmışlar, yersel lazer tarayıcıyla da buldukları sonuçları karşılaştırdıklarında 4 cm kadar fark bulabilmişlerdir. Toplam arazi çalışmasının 2 saat sürdüğü ve cad programında çiziminin bir gün içinde

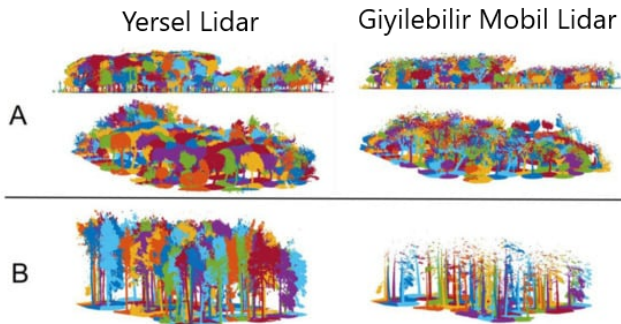
tamamlanarak çok hızlı bir şekilde sonuca ulaştıklarını bildirmişlerdir. Çalışmada sunulan çizimler incelendiğinde Şekil 3.2 ayrıntıların cad çizimlerine başarılı bir şekilde aktarılacağı görülmektedir, özellikle ahşap detaylar dikkat çekicidir (Yılmaz & Yakar, 2016b).



Şekil 3.2. Adanero Kilisesi'nin 3B modelleri ayrıntıları çizimde gözükmektedir [30].

3.2. Ormanlık ve Orman Haritalama Çalışmaları

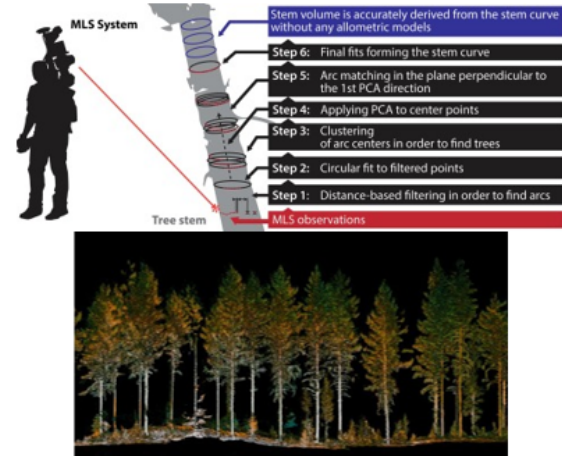
Carlos Coba ve ark. 2018 yılında İspanyanın kuzey doğusunda San Antonio Parkında otomatik ağaç tespiti için GML (el tipi) ile yersel LİDAR yöntemini ağaç çapı ve yükseklikleri belirleyip aralarındaki farkları bulmuş ayrıca bu sayede hem orman haritasını hem de orman envanteri çıkardıklarını bildirmektedir. Yersel Lidar ile mobil Lidar arasında karesel ortalama hata 3,5 cm bulunmuştur. Ağaç boyları belli bir yüksekliği aştığında yersel Lidar daha iyi sonuç vermiştir, (Şekil 3.3) ağaç boyları 9-10 m'den daha kısa olduğunda iki yöntem arasında belirgin bir fark bulunamamıştır.



Şekil 3.3. A ve B arazilerindeki orman ağaçlarının giyilebilir mobil tarayıcı ve Yersel Lidar ile rastgele renklendirilmiş 3B modeli (Cabo, vd., 2018).

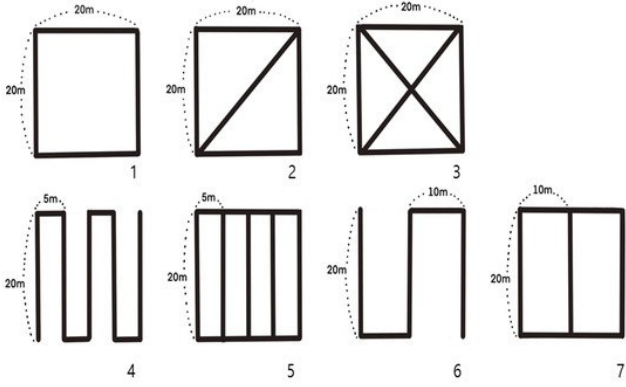
Sheng Xu ve ark. 2020 yılında Çinin Nanjing şehrindeki Huangpu Yolu üzerindeki ağaçların çap ve gövde yüksekliklerini belirlemek için GML kullanmışlar elde ettikleri sonuç GML'in bu alanda kullanılabileceğini göstermiştir (Xu, vd., 2020).

Eric Hyypä ve ark. 2020 yılında Finlandiya'nın Evo şehrindeki Boreal orman bölgesindeki orman ağaçlarının endüstriyel açıdan incelenmesi için gövde eğriliği, çapı ve gövde hacmi vb. ölçülmesi için GML kullanılmış (Şekil 3.4) ve orman işletmesinin istediği hassasiyette sonuç elde edilmiştir (Hyypä, vd., 2020).

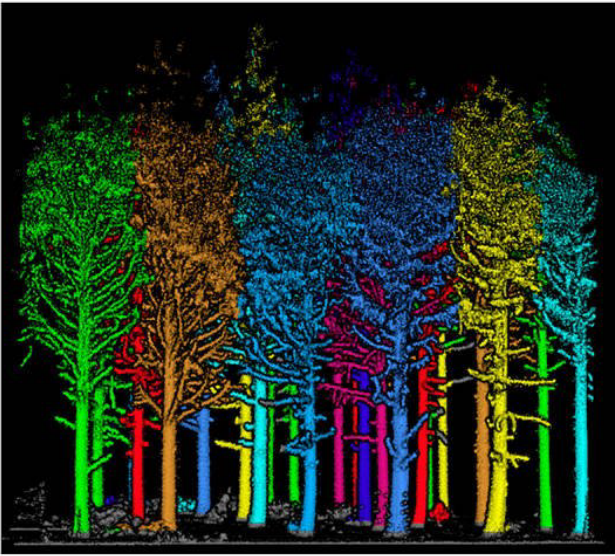


Şekil 3.4. Orman ağaçlarının giyilebilir mobil tarayıcıyla ölçümü ve 3B modeli (Hyypä, vd., 2020).

C. Ko ve ark. 2021 yılında Güney Kore, Jeju Adası'nda ormanlık bir alanda giyilebilir mobil tarayıcıyla ağaç envanteri çıkardı, çalışmada diğer orman envanteri çıkarma yöntemleriyle GML karşılaştırılmıştır. Mobil Lazer tarama yöntemi hava koşullarından etkilenir. Yağmur ve kar, darbelerin saçılma özelliklerini etkiler ve özellikle rüzgâr tepelerin hareket etmesine neden olarak nokta bulutunda aykırı değerler üretir, bundan dolayı rüzgâr hızının 5 m/sn içinde kaldığı zamanlarda ormanda tarama yapılmış. Rüzgâr hızı 5m/sn'nin altında alındığından taramalarda bir etkisi olmamıştır. Bir GML'in arazi çalışmalarından sonra verilen ofis çalışmaları yapılır. Bunlar; pilot çıkarma, tüm nokta bulutunun yalnızca bir örnek noktası (20 m × 20 m) içindeki noktaların çıkarılması, gürültü filtreleme, lazer darbelerinin çok yollu etkilerinin neden olduğu aykırı değerleri veriden kaldırma kaliteyi iyileştirme görevleri, yer noktası sınıflandırması, üçgenlenmiş düzensiz ağ algoritmasını kullanarak araziyi ayırma görevi, nitelik tahsisi, her nokta bulutuna bir özellik değeri veren görevler (örnek olarak; direkler, alt bitki örtüsü, yapılar, vb.), kök çıkarma, en kısa yol algoritmasını kullanarak stantları çıkarma şeklinde sayılabilir. Şekil 3.5'de verilen farklı yürüme yolları izlenerek farklı yolların hangisinin daha iyi sonuç verdiği araştırılmıştır. Ağaç yüksekliklerine göre 5 ve 7 numaralı yürüme yolları daha iyi sonuç vermiştir. Tüm çalışma değerlendirildiğinde yürüme yolu 7 en verimli yürüme yolu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, bir kişi tarafından kullanılabilen GML'in, üç kişilik bir grup tarafından gerçekleştirilen saha araştırması yöntemine göre aynı alan ve zamana göre daha verimli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada yersel lidar tarama ve mobil lazer taramadan GML taramanın ağaç gövdelerinin araştırılmasında daha yetkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak GML hem sahada çalışma süresini, hem insan emeğini azaltmıştır ve yöntemin orman alanları için kullanılmasının yerinde olacağı anlaşılmıştır (Şekil 3.6), (Ko, vd., 2021).

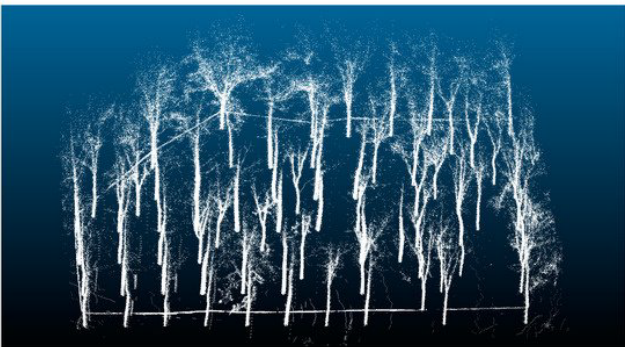


Şekil 3.5. Sırt çantasındaki mobil lazer tarama cihazı ile ormandaki taramalar için kullanılan farklı alım yolları (Ko, vd., 2021).



Şekil 3.6. GML ile 3B Orman modelleme (Ko, vd., 2021).

Zhou, S ve ark. Çin'in Pekin şehrinde Bajia Parkında kendi tasarladıkları piyasadan aldıkları Lidar, IMU vb. araçlarla el tipi mobil Lidar tasarladılar. Yaptıkları sistemle bir ormanın 3B haritasını yaptılar, ortalama karekök hatası 0.7 cm ile sonuç elde ettiler, yapılan çalışmadaki oluşan hatanın ormancılık çalışmaları için yeterli olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3.7), (Zhou, 2019).



Şekil 3.7. Zeminin çıkarılarak sadece ağaçların gösterildiği 3B nokta bulutu (Zhou, 2019).

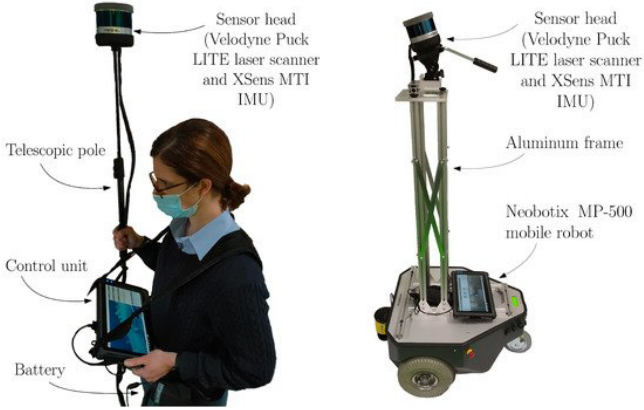
3.3. İç Mekân Modelleme

Geoslam firması ürettiği el tipi LİDAR tarayıcı ile 3 katlı bir binayı sadece 10 dakikada 15 mm doğruluk seviyesine kadar haritalayabildiğini bildirmektedir (Geoslam, 2021).

Roi Otero ve ark. 2020 yılında; mobil iç mekân haritalama sistemleri için bir araştırma yapmıştır. Mobil iç mekân haritalama cihazlarını; el tipi, sırt çantası ve el arabası olarak üç ana fiziksel gruba ayırmışlardır. LiDAR'ın fotogrametriye karşı aşağıdaki avantajları ve eksiklikleri gösterilmiştir. Avantaj olarak ölçümlerin gölgelerden etkilenmediği, geceleri çalışılabildiği, veri işlemede hızlı otomasyon sağladığı, üretim süresinin kısa olması ve yoğun ve doğru ölçümler yaptığını belirtmişlerdir. Handikapı; ölçümler yansılardan etkilenir, tanımlama süreci karmaşık olması gösterilmiştir. Sonuç olarak el tipi ve sırt çantası cihazların, iç mekân ortamlarını araştırmak ve haritalamak için isabetli bir seçim olacağını bildirmişlerdir. 2B yerine 3B LİDAR kullanılması tavsiye edilmiştir (Otero, vd., 2020).

E. Maset ve ark. 2021 yılında İtalya Udine 'deki Rizzi Üniversitesi Kampüsü'nün ana binası ve aynı şehirde bulunan dik nehir kıyıları ve akarsu teraslarının bulunduğu bir vadide yersel lazer tarama ve fotogrametri yöntemleriyle, GML tarayıcıyı karşılaştırılmıştır. Uygulamada GML ile 5 ila 10 cm arasında doğrulukta sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir, bulunan sonuçların şu anda bu teknolojinin yapıların ve kentsel alanların araştırılmasında uygun olmadığı savunulmuştur, yine yüksek hassasiyet gerektirmeyen işlerde hızlı kullanım için önerilmektedir. Doğal ortam izleme alanında, GML henüz yaygın bir uygulama bulamamıştır ve bu konuda sınırlı sayıda yayına ulaşılabilmektedir. İnsansız Hava Araçlarının (İHA) uçmadığı alanlarda giyilebilir LİDAR'ın ciddi bir rakip olduğu ve bu alanlarda kullanılabilir olduğu ileri sürülmüştür (Maset, vd., 2021).

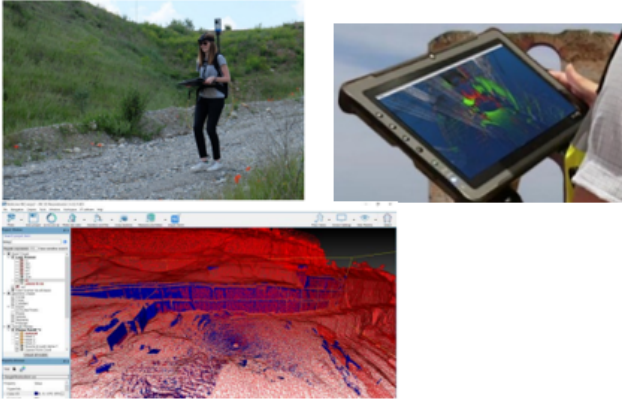
E. Maset ve ark. 2022 yılında GML tarayıcıyı uzaktan kumandalı bir platforma monte ederek kapalı mekânların taranmasında elle taşımaya göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Şekil 3.8'de gösterilen 2. şekilde tarama kafası, robot tabanından yaklaşık 1 m yükseklikte özel bir alüminyum destek üzerine bağlanarak taşınmıştır. Bu durum ölçümlerin hep aynı yükseklikten alınmasını sağlamış, tarayıcının salınımı azaltarak iç mekânlarda kolaylık sağlamıştır. Platform kablosuz uzaktan kumanda ile kontrol edilmiştir. Robotik taşıma sabit hız, daha az sarsıntı vb. avantajlar sağlar. El ile taşınan platform durumuna göre robotik taşıma daha yüksek bir yüzey yoğunluğu, daha düzgün nokta dağılımı ve daha düşük gürültü seviyesi gösterildiği bildirilmiştir. Ayrıca elle taşımadaki 2 cm'lik hatanın robotik taşıma ile 1.7 cm seviyesine gerilediği bildirilmiştir (Maset, vd., 2022).



Şekil 3.8. GML tarayıcının elle ve platform üzerinde taşınması (Maset, vd., 2022).

3.4. Açık Maden Ölçmeleri

G. Vassena ve A. Clerici 2018 yılında İtalya'da aktif bir açık madende zaman zaman yapılan kazı çalışmalarını sonucu hafriyatı ölçmek için önce İHA ve yersel lazer tarayıcı kullanmış daha sonra ölçülen nokta bulutunu SLAM verisi olarak GML tarayıcıya yüklemiştir (Şekil 3.9). Otomatik lokalizasyondan sonra sistem, madenin incelenen kısımlarını gerçek zamanlı olarak görselleştiriyor. Gösterge ekranı yeşil renkte görüntülediği yerlerde bir değişim olmadığı, kırmızı renk ise değişen yerler için kullanılır. Doğruluk incelemesinde 3-4 cm fark bulundu. Gerçek zamanlı değişim algılama yaklaşımı kullanılarak, maden sahalarındaki değişiklikleri tespit etmenin mümkün olduğu ortaya konmuştur (Vassena ve Clerici, 2018).

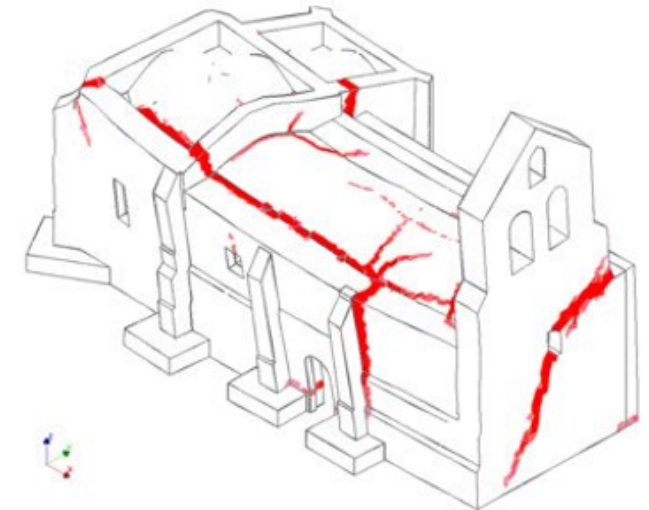
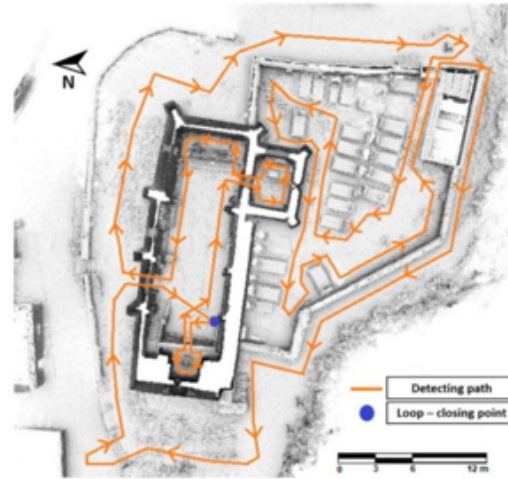


Şekil 3.9. Açık madende GML kontrol ünitesi ve 3B görüntüsü (Vassena ve Clerici, 2018).

3.5. Sismik olayların yapılarda oluşturduğu deformasyonun belirlenmesi

L. Sánchez-Aparicio ve ark. 2021 yılında İspanyanın Palencia şehrinde bulunan San Pedro Kilisesini GML haritalama sistemiyle modellemiş ve sismik olayların yapıya etkisinin sayısal simülasyonunu yapmışlardır. Yapının temel aldığı toprakta zaman içerisinde çökmeler meydana gelmiş ve yapı deforme olmuştur. Tarihi yapıların restorasyonu için yapının inşaatı ve tarihi hakkında tam bir bilgiye sahip olabilmeyi sağlayacak olan sayısal analizler ve yapının izlenmesi gerekir. GML ile oluşturulan 3B modellerde deformasyonlar belirlenebilir, yapıya etki eden sismik olayların nasıl etkilendiği ortaya konabilir ve doğru müdahaleler

yapılabilir. Çalışmada tüm alanlara ulaşılması başlangıçta planlanır, yürüme yolu üzerinde engeller varsa önceden kaldırılır, hatayı azaltmak için tekrar başlangıç noktasında taramayı bitirecek aşağıda şekil 3.10'da gösterildiği gibi yürüme güzergâhı planlanarak tarama yapılmıştır. SLAM teknolojisinde bir önceki noktaya göre bir sonraki nokta hizalandığından hata artarak gider, hatanın en aza indirilmesi başlangıç noktasına tekrar gelerek kapalı bir döngü oluşturmakla azaltılabilir. 18 dakikalık yürüyüşle 27 milyon nokta bulutu alınmış mutlak hatası 7 mm dir. Bulut noktalarında maksimum tutarsızlık 3 cm bulunmuş, noktaların %78'inde 1 cm'nin altında hata çıkmıştır. Nokta bulutunda gürültüler ortadan kaldırmak için filtreler uygulandıktan sonra maksimum tutarsızlık 2 cm'ye düşmüş. Noktaların %95'inde hata 1 cm'nin altına inmiştir. Yapılan Cad çizimlerinde daha ileri sayısal simülasyonlar için kilisenin karmaşık deformasyonlarını yakalayabilen tamamlanmış bir CAD modeli oluşturulabilmiştir. Yapının x, y ve z yönlerinde karmaşık deformasyonu yorumlanmıştır. Tarihi yapının restorasyonunda tekstil karışumlu harç kullanımı denenmiş dikey yükleme için %102'lik bir artışa karşılık, yapının yanal kapasitesini yaklaşık %115 artırdığı sonucuna ulaştıkları bildirilmiştir. (Sánchez-Aparicio, vd. 2021).



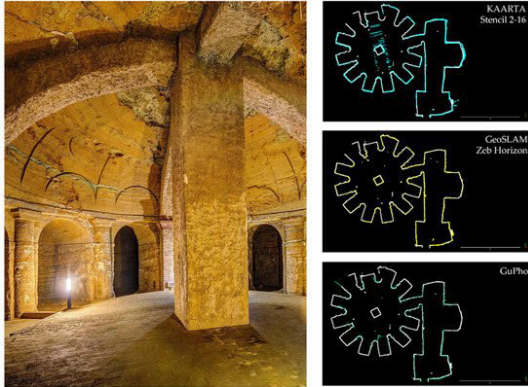
Şekil 3.10. San Pedro Kilisesi'nin birinci şekilde kapalı tarama güzergâhı ikinci şekilde -y yönündeki çökmesi gözükmektedir (Sánchez-Aparicio, vd. 2021).

3.6. Tünel, Mağara Modelleme

F. Di Stefano ve ark. İtalya'nın Camerano şehrindeki Camerano Mağaralarının karmaşık ortamı, şehir merkezinin altında yer alan ve toplam 3 km boyunca uzanan bir dizi salon ve tünelin GML ile 3B modelini yaptılar. Testler, hacimsel karmaşıklık, zayıf aydınlatma koşulları ve zor erişilebilirlik ile karakterize edilen mağara özellikle seçilmiştir. Mobil lazer tarayıcılar ile yapılan mağara düşey kesiti şekil 3.11'de gösterilmiştir. Yeraltı çalışma koşulları zor olduğundan mobil tarayıcılar avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada yersel lazer tarayıcıyla üç farklı mobil tarayıcı karşılaştırılmıştır (Şekil 3.12). Farklı mobil tarayıcılarla yapılan ölçümlerde hata miktarı 1 ile 3 cm arasında hatalarla elde edilmiştir. Mobil tarayıcıların, GNSS konumlandırmasının mevcut olmadığı kapalı alanlarda ve eklemli mimari, peyzaj ve arkeolojik ortamlardaki çalışmalar için uygun olduğunu belirtmektedir (Di Stefano, vd., 2021).



Şekil 3.11. Yeraltı mağaraları ile Camerano (İtalya) şehir merkezinin düşey kesiti (Di Stefano, vd., 2021).

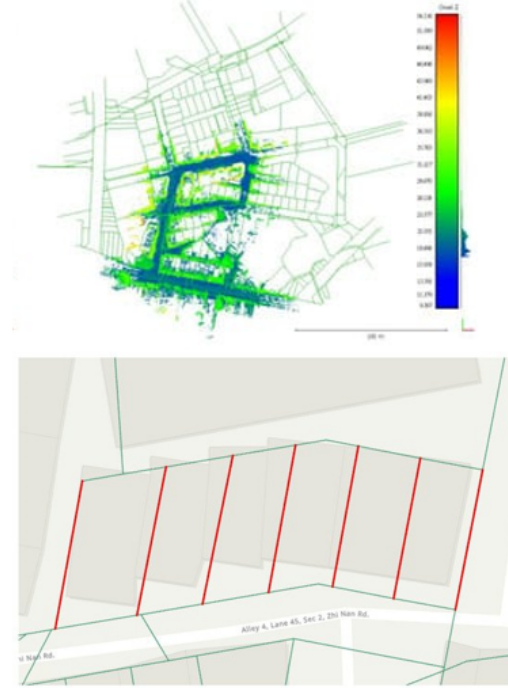


Şekil 3.12. Mağaranın resmi ve farklı markalı mobil tarayıcılarla on iki gen kubbenin plan kesiti (Di Stefano, vd., 2021).

3.7. Kadastro Paftalarının Yenilenmesi

Chio, S. H., ve Hou, K. W. Tayvan'ın Urban şehrinde 2021 yılında kadastro paftalarının yenilenmesi gerekliliği için GML'i test etmişlerdir. Tayvan'da kadastro paftaları 1/500 ölçeğinde hazırlanmış ve pafta hassasiyeti olarak 0.3 mm kullanılmaktadırlar. Ülkemizde gözün ayırma gücü 0.2 mm alınır. Tayvan'da bir paftadan beklenen doğruluk $500 \times 0.3 = 15$ cm'dir. Yapılan mobil taramalar sonuçları, total-station ile verilen koordinatlardan farklar hesaplanmış ve ölçülerin % 97'sinde hata miktarı 15 cm'nin altında kalmıştır ve ülkelerinde uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Yapılan çalışmada SLAM'ın düzgün sonuç verebilmesi için aşağıda sıralanan kurallara uyarak yürüme yörüngesi belirlenmiştir. Hareketli nesnelere taramaktan kaçınılmalıdır, bu durum hatalara neden olmaktadır. Taranan yolun başlangıç ve bitiş noktaları aynı nokta olmalı, kapalı bir rota oluşturulmalıdır. Hareket hızı normal yürüme

hızından (1,1~1,5 m/sn) fazla olmayacak şekilde olmalı ve iyi bir nokta bulutu yoğunluğu sağlamak için sabit hızda yürümek gerekir. Bina köşesini dönerken, tarama görüş açısı büyük ölçüde farklılaşır, bir yörünge oluşturmak için yeterli özellikleri elde etmek için hız ve hareket yavaşlatılmalıdır. İyi nokta bulutu doğruluğunu ve nokta bulutu yoğunluğunu korumak için tarama mesafesinin 50 m içinde tutulması gerekir. Tek bir tarama görevinin süresi 30 dakikayı geçmemelidir. Geniş bir alanı tararken, tarama görevi birkaç bölüme ayrılmalıdır. Çok fazla cam ve pencere içeren alanlardan kaçınılmalıdır, çünkü cam ve pencereler lazer ışınının kırılmasına eğilimlidir ve yanlış nokta bulutlarına neden olacaktır. Dar geçitleri tararken, tarayıcının her iki taraftaki duvarların özelliklerini alabilmesi için tarama yolu ortadan gitmelidir, aksi durumda küçük açıda görünen yakın duvar ayrıntıları çıkmaz. Sonuç olarak elde edilen nokta bulutunda bitişik binalar saçakları ve birleşme yerlerine göre sınır alınmış duvarlar sınır alınmış ve yollardan yapılan ölçümler ile parsellerin sayısal koordinatları elde edilmiştir (Şekil 3.13), (Chio ve Hou, 2021).

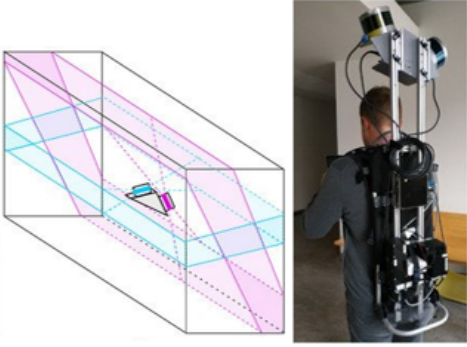


Şekil 3.13. Giyilebilir Lidar ile birinci şekil filtreleme sonunda nokta bulutu, ikinci şekil muhtemel kadastro sınırlarının çizimi (Chio ve Hou, 2021).

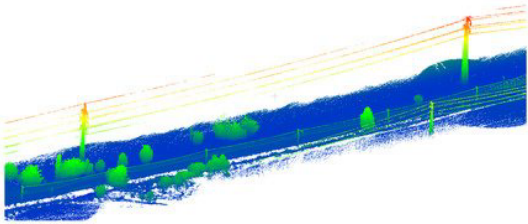
3.8. Enerji Nakil Hatlarının (ENH) Ölçümü

M. Velas, ve ark. 2019 yılında. Velodyne LiDAR çifti kullanarak kendi tasarladıkları GML ile iç ve dış mekân haritalamayla ilgili çalışma yaparak test ettiler. Lidar çiftini farklı konumlarda konumlandırarak deneyler yaptılar, sorunları en aza indiren Lidar konumu Şekil 2.22'de gösterildiği gibi tespit ettiler. Deneyler sırasında, sınırlı (30°) yatay görüş alanının geniş açık alanlar için bir sorun olmadığını keşfettiler, ancak küçük ve dar alanlarda (2 m'den dar koridor vb.) sınırlı bir görüş alanının ciddi sorunlara neden olarak, zayıf doğruluk ve hatta SLAM sisteminin bozulduğunu tespit ettiler. Küçük veya dar alanlarda zemini, tavanı ve duvarları kaplayan sağlam bir çözüm sağlamak için en az iki senkronize

Lidar tarayıcıya ihtiyacımız olduğunu deneysel olarak ortaya koydular. Yaptıkları çalışmaları kapalı mekân ve açık arazide (Şekil 3.14,15) ENH 3B modellerini beklenen doğrulukta yapmışlardır (Velas, vd., 2019).



Şekil 3.14. Araştırmada tespit edilen en iyi çift Lidar konumu (Velas, vd., 2019).



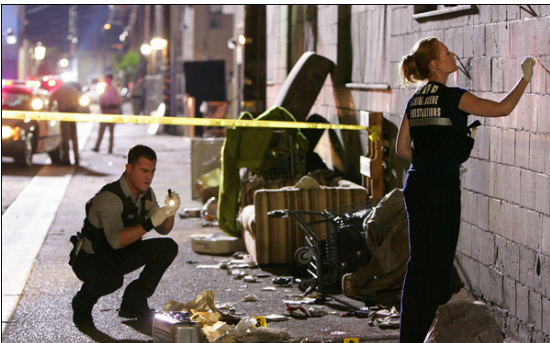
Şekil 3.15. ENH hattı 3B model (Velas, vd., 2019).

3.9. Altyapı Haritaları

Ulvi ve ark. 2021 yılında Türkiye’de Mersin Üniversitesinin alt yapı haritasının yapmak için GML’i kullandı. Önce yolların haritası yapan ekip, sonra alt yapıyı da rögar kapaklarından çizerek çalışmayı tamamladı. Yapılan çalışma sonucunda alt yapı haritalarının GML ile yapılabildiğini bildirmişlerdir (Ulvi, vd., 2021).

3.10. Adli Olay Yeri Belgelenmesinde

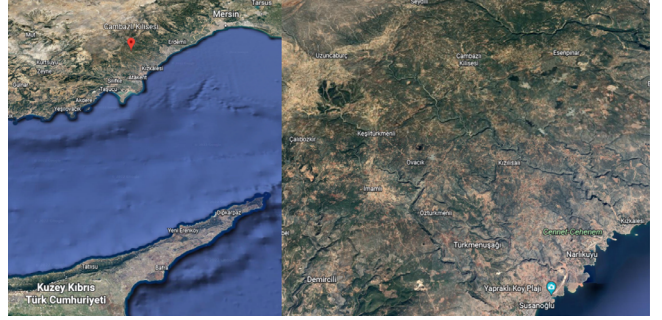
Adli olay yerlerinde ortamın ve ortamdaki cisimlerin konumları, birbirlerine göre yön ve dizilişleri olay öğrenildiğindeki konumu uzun süren mahkeme sürecinde fiziksel mekân olarak saklanması çoğunlukla mümkün değildir (Şekil 3.16). Vakanın aydınlatılmasında mahkeme süreci ilerledikçe ortamın 3B modelinin üzerinde gereken incelemeler kanıt olarak duracak; hâkim ve bilirkişilerin işini kolaylaştıracaktır. Adliyedeki davaların daha çabuk çözülmesinde ve alınan kararlarda bilimsel kanıt olarak kullanılabileceğinden GML önerilir.



Şekil 3.16. Olay yeri (Kriminal, 2022)

4. GYM ile Cambazlı Kilisesi 3B Modellemesi

Cambazlı kilisesi, Silifke ilçemizin 29 km kuzeyinde, coğrafi koordinatları 36°34’29” kuzey enlemi, 34°01’58” doğu meridyeni konumunda yer almaktadır, haritadaki yeri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Cambazlı köyü içerisinde kalan Cambazlı kilisesi, Erken Bizans döneminden kalan tarihi yapıdır. Kilise üç neflidir ve günümüze kadar toprak üstünde kalan bölgesinde tek kilisedir (Çalışkan, 2009).



Şekil 4.1. Cambazlı kilisesinin haritadaki yeri

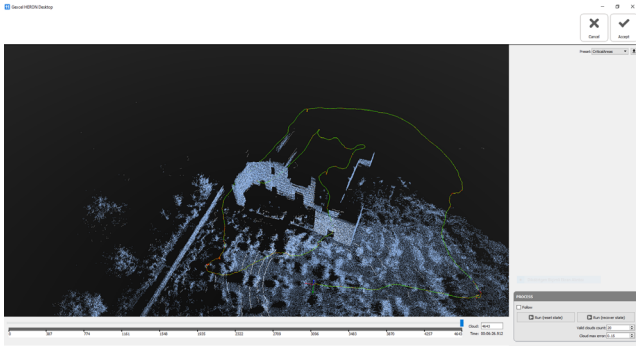
4.1. Cambazlı Kilisesinin YKN Kullanılarak Taranması

Cambazlı Kilisesi ölçümü için 4 YKN tesis edildi noktaların GNSS ve total-station ile ölçümleri yapıldı ve ITRF koordinatları bulundu. GYM ile kapalı poligon şeklinde, içi ve dışı birlikte tarama yapılarak ölçüldü. Çalışma aşamalarından görseller Şekil 4.2’de verilmiştir.



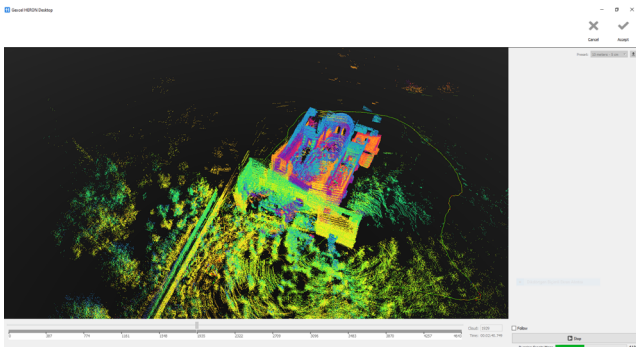
Şekil 4.2. Cambazlı kilisesi ve arazi çalışmalarından kareler

Güzergâh aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. GYM ile güzergâhın taranması yaklaşık 6.5 dakikada sürmüştür. Odometer aşamasından bir ekran görüntüsü Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Odometer ile güzergâh çözülür.

Create Maps aşaması Şekil 4.4'de verilmiştir.



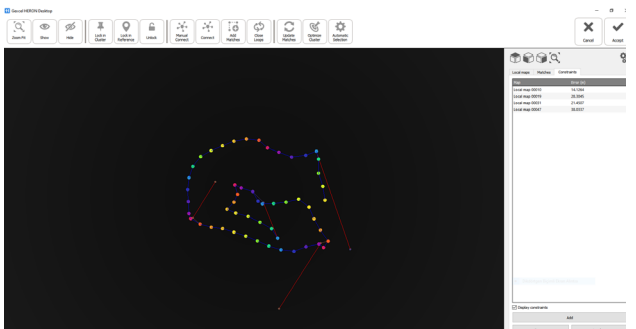
Şekil 4.4. Create Maps yapılıyor, yeni haritalar üretiliyor.

Oluşan bağlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



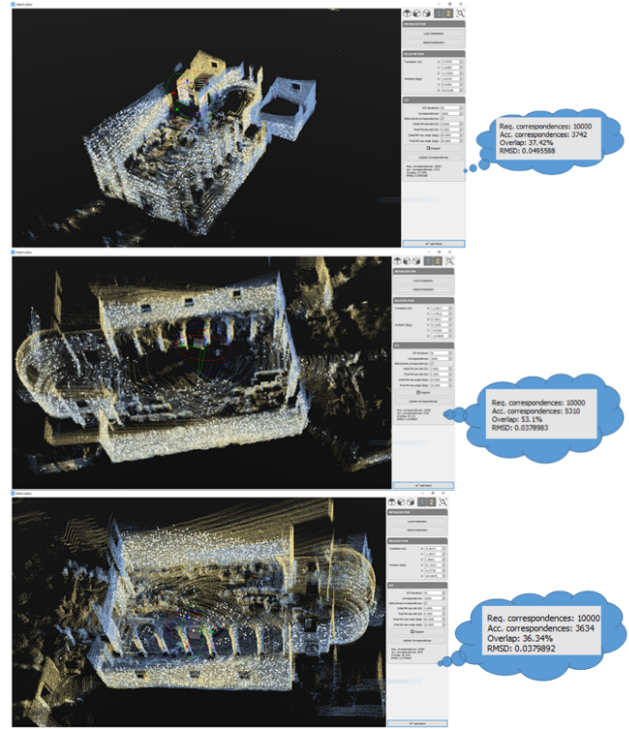
Şekil 4.5. Global optimizations yapılarak nokta bulutu parçalara ayrılır ve bağlar görüntülenir.

YKN noktaları eklenince bağlar Şekil 4.6'daki gibi gözlenir.



Şekil 4.6. YKN noktaları eklendiğinde bağlar.

Eklenecek bağlar çakıştırılır çakışma oranları ve RMSD değerleri görüntülenir. Nokta bulutları çakışması görselde beyaz renkte görünür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yeni atılan bağlardan örnekler ve çakıştırılma oranları.

Yeni atılan bağlarla bağlardaki son durum Şekil 4.8'de gözükmektedir.



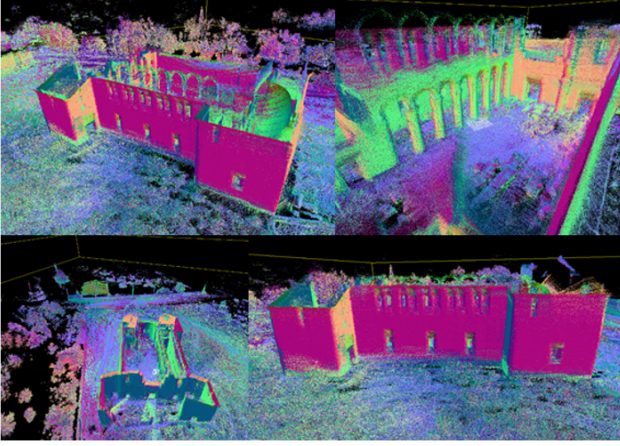
Şekil 4.8. Dengelenmiş güzergâhta oluşan ve oluşturulan bağ yapısı.

Tüm bağlar birlikte dengendiğinde RMSD karekök hatası 6 cm ile 2 cm arasında ortalama 3 cm, bağlardaki en büyük hata ise 8 cm ile çoğunluğunda 1 cm civarında, ortalama 2 cm olduğu gözlemlendi. Güzergâh dengelemesinde kontrol noktalarına isabet eden hata ortalama 1 cm çıktı (Şekil 4.9).

Local maps					Matches		Constraints		Local maps		Matches		Constraints	
Map 1 (ID)	Map 2 (ID)	Overlap (%)	RMSD (cm)	Error (m-rad)	Map	Error (m)								
Local map 00000	Local map 00015	12.1300	5.9596	0.0849	Local map 00010	0.0166193								
Local map 00007	Local map 00009	44.5300	5.6635	0.0568	Local map 00019	0.0170777								
Local map 00015	Local map 00047	8.1900	5.5937	0.0212	Local map 00031	0.00936304								
Local map 00000	Local map 00016	12.3800	5.1993	0.0873	Local map 00047	0.0109513								
Local map 00004	Local map 00006	37.4000	4.9460	0.0296										
Local map 00024	Local map 00022	26.5700	4.9328	0.0217										

Şekil 4.9. Dengeleme sonucunda bağlardaki ve YKN'da hatalar

Dengelenmiş güzergâhtan 3B model ve ortofoto Şekil 4.10 ve 4.11'de elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Cambazlı kilisesinin farklı açılardan 3B modeli



Şekil 4.11. Cambazlı kilisesinin ortofotosu

Yapının üzerinde arazide ölçülen uzunluklar Tablo 4.1'de verilmiştir (Şekil 4.12). Arazi ve ortofoto üzerinde ölçülen uzunlukların farkları sırasıyla 6, 1, 1, 5, 1, 7, 5, 4 cm olmaktadır, uzunluklarda hata ortalaması 4 cm olmaktadır.

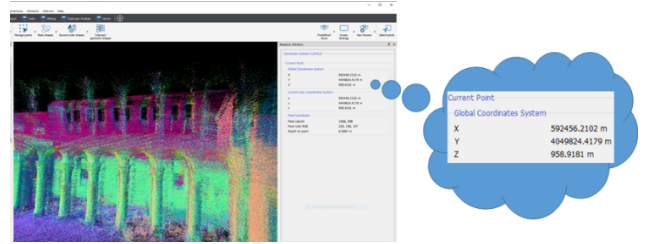


Şekil 4.12. Cambazlı kilisesinin ortofotosu üzerinden ölçülen uzunluklar.

Tablo 4.1. Kilisenin arazi ve ortofoto üzerindeki uzunlukları

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Arazideki uzunluk (m)	6.67	3.90	16.27	7.29	2.26	15.16	3.88	5.91
Ortofotoda uzunluk (m)	6.73	3.91	16.26	7.34	2.27	15.09	3.83	5.95
Fark (cm)	6	1	1	5	1	7	5	4

Kilisenin 3B nokta bulutu ITRF koordinatlarına dönüştürüldü (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Cambazlı kilisesinin ITRF koordinat sistemine dönüştürmüş 3B modeli

5. SONUÇLAR

GML ile kültürel mirasın belgelenmesi amacıyla Cambazlı Kilisesinde yapılan çalışmada; kilisenin 3B modeli üretilebilmiş, üretilen 3B modelin koordinatları ITRF koordinatlarına dönüştürülmüş ve ortofotosu üretilerek ortofoto üzerindeki uzunluk ile arazi uzunluğu karşılaştırılması sonucu ölçülen uzunluklarda hataların 7 cm'yi geçmediği görülerek sistemin YKN kullanıldığında güvenilir sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

GML'in kullanım alanlarıyla ilgili yapılan yayınlarda tarihi eserlerin belgelenmesi, iç mekân haritalama, orman haritaları ve envanteri çalışmalarında çokça yayın bulunmuştur. Bunun yanında kapalı maden ve tünel ölçmeleri ve yürüyerek bir insanın geçebildiği saymadığımız birçok alanda kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Sistem araçlı mobil Lidar'dan daha yavaş olmasından dolayı araçlı mobil Lidarın ulaşamadığı alanlarda kullanımı yerinde olacaktır. GPS sinyallerinin alınmadığı kapalı alanlarda SLAM ile haritalamaya devam edebilmek sistemin üstün yanıdır. Burada en çok düşündürülen yanı sistemin GPS sinyali alamadığı 10 dakikalık bir yürüyüş sonucunda 20-50 cm civarında bir hata vermesidir.

Bu çalışmada kullandığımız GML modelinde GNSS desteği olmadığından çalışma alanının açık ya da kapalı olmasının bir önemi olmamaktadır. Kullanılan sistemdeki esas uğraş YKN tesisi ve yapı içlerine YKN tesis etmektir. YKN ölçümlerinin zaman alması arazide hızımızı düşürmektedir, GML'da GNSS olsa ya da YKN hazırda olsa sistemle arazi çalışması çok hızlıdır. Bundan sonraki hedefimiz; çalışmalarda SLAM'ın hatasını düşürecek yöntemler bularak bunları yayınlamak olacaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Atilla Karabacak'ın tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-2-TP2-4538 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmadaki tüm katkılar yazarlar arasında eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- 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. (2020). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 5-9.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40. DOI: 10.53093/mephoj.939079
- Alptekin, A., Çelik, M.Ö., Doğan, Y. & Yakar, M. (2022). Illustrating of a Landslide Site with Photogrammetric and LIDAR Methods. In: El-Askary, H., Erguler, Z.A., Karakus, M., Chaminé, H.I. (eds) *Research Developments in Geotechnics, Geo-Informatics and Remote Sensing*. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham.
- Altuntas, C., Yildiz, F., Karabork, H., Yakar, M., & Karasaka, L. (2007, October). Surveying and documentation of detailed historical heritage by laser scanning. In XXI International CIPA Symposium, 1(6).
- Barber, D., Mills, J. & Smith-Voysey, S. (2008). Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 63(1), 128-141.
- Cabo, C., Del Pozo, S., Rodríguez-Gonzálvez, P., Ordóñez, C. & Gonzalez-Aguilera, D. (2018). Comparing terrestrial laser scanning (TLS) and wearable laser scanning (WLS) for individual tree modeling at plot level. *Remote Sensing*, 10(4), 540.
- Carla LAUTER'in 13 Mayıs 2020 tarihli yazısı (Yeni giyilebilir VLX tarayıcıları ile NavVis, mobil haritalamayı ana akım haline getirmeyi hedefliyor) www-geoweeknews-com. (son erişim 01.10.2021)
- Chio, S. H. & Hou, K. W. (2021). Application of a Hand-Held LiDAR Scanner for the Urban Cadastral Detail Survey in Digitized Cadastral Area of Taiwan Urban City. *Remote Sensing*, 13(24), 4981.
- Çalışkan, M., Aydın A., Aydınoglu Ü., Kerem F., (2009) Mersin Ören Yerleri Kaleleri Müzeleri, TC Mersin Valiliği, *Seçil Ofset II. Baskı*, İstanbul
- Çetin, Y. Ş. (2004) Ülkemizde uydu hava seyrüsefer haberleşme sistemlerine olan ihtiyacın teknik ve ekonomik boyutunun analizi. *Telekomünikasyon Kurumu, Uzmanlık Tezi, Ankara*
- Di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L. J., Barba, S., Martín-Jiménez, J. A., Mora, R. & González Aguilera, D. (2018). Use of a wearable mobile laser system in seamless indoor 3D mapping of a complex historical site. *Remote Sensing*, 10(12), 1897.
- Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M. & Pierdicca, R. (2021). Mobil 3D tarama LiDAR: bir literatür taraması. *Geomatik, Doğal Tehlikeler ve Risk*, 12 (1), 2387-2429.
- Di Stefano, F., Torresani, A., Farella, E. M., Pierdicca, R., Menna, F. & Remondino, F. (2021). 3D surveying of underground built heritage: Opportunities and challenges of mobile technologies. *Sustainability*, 13(23), 13289.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. DOI: 10.26833/ijeg.378257
- FARO lazer tarayıcı şirketinin ana sayfasından 10 Temmuz 2021 tarihinde <https://www.faro.com/> adresinden erişildi.
- Geoslam firmasının ana sayfasından 14 Ekim 2021 tarihinde <https://geoslam.com/>, adresinden erişildi.
- Geoslam Şirketi ana sayfasından 17 Ekim 2022 tarihinde <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/> adresinden erişildi.
- Geospatial World (2018) New bMS3D-360: The first Backpack Mobile Scanning System including panoramic camera 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.geospatialworld.net/news/new-bms3d-360-first-backpack-mobile-scanning-system-panormic-camera/> adresinden erişildi.
- GEXCEL Şirketinin sayfasından 2 Ekim 2021 tarihinde <https://gexcel.it/en/solutions/heron-portable-3d-mapping-system> adresinden erişildi.
- Glennie, C. (2009). Kinematic terrestrial light-detection and ranging system for scanning. *Transportation research record*, 2105(1), 135-141.
- Guan, H., Li, J., Cao, S. & Yu, Y. (2016). Use of mobile LiDAR in road information inventory: A review. *International Journal of Image and Data Fusion*, 7(3), 219-242.
- Hyypä, E., Kukko, A., Kaijaluoto, R., White, J. C., Wulder, M. A., Pyörälä, J., ... & Hyypä, J. (2020). Accurate derivation of stem curve and volume using backpack mobile laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 161, 246-262.
- Karataş, L., Alptekin, A. & Yakar, M. (2022). 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.
- Ko, C., Lee, S., Yim, J., Kim, D. & Kang, J. (2021). Comparison of Forest Inventory Methods at Plot-Level between a Backpack Personal Laser Scanning (BPLS) and Conventional Equipment in Jeju Island, South Korea. *Forests*, 12(3), 308.
- Korumaz, G. A., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 26(3), 67-83.
- Kriminal Han danışmanlık şirketinin sayfasından 13 Ekim 2022 tarihinde <https://bilirkisiraporlari.com/olay-yeri-ve-delil-incelemeleri/> adresinden erişildi.
- LEICA firmasının ana sayfasından 2 Ekim 2021 tarihinde <https://leica-eosystems.com/products/mobile->

- sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack adresinden erişildi.
- Leica, 2016. Şirketin ana sayfası, 10 Temmuz 2021 tarihinde <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software> adresinden erişildi.
- Maset, E., Cucchiaro, S., Cazorzi, F., Crosilla, F., Fusiello, A. & Beinat, A. (2021). Investigating The Performance Of A Handheld Mobile Mapping System In Different Outdoor Scenarios. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Maset, E., Cucchiaro, S., Cazorzi, F., Crosilla, F., Fusiello, A. & Beinat, A. (2021). Investigating the Performance of a Handheld Mobile Mapping System in Different Outdoor Scenarios. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, B1-2021.
- Maset, E., Scalera, L., Beinat, A., Visintini, D. & Gasparetto, A. (2022). Performance Investigation and Repeatability Assessment of a Mobile Robotic System for 3D Mapping. *Robotics*, 11(3), 54.
- Masiero, A., Fissore, F., Guarnieri, A., Pirotti, F., Visintini, D. & Vettore, A. (2018). Performance evaluation of two indoor mapping systems: Low-cost UWB-aided photogrammetry and backpack laser scanning. *Applied Sciences*, 8(3), 416.
- NAVVIS şirketi sayfasından 1 Ekim 2021 tarihinde www.navvis.com adresinden erişildi.
- Optech şirketinin ana sayfasından 10 Temmuz 2021 tarihinde <http://www.teledyneoptech.com/en/products/mobile-survey/> adresinden erişildi.
- Oruç, M. E. & Baş G. (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I. & Arias, P. (2020). Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction*, 120, 103399.
- PaksoytekniK şirketinin sayfasından 17 Ekim 2022 tarihinde <https://paksoytekniK.com.tr/index.php/paksoy-topcon/lazer-tarama/gexcel-heron> adresinden erişildi.
- PaksoytekniK şirketinin sayfasından 17 Ekim 2022 tarihinde <https://paksoytekniK.com.tr/index.php/paksoy-topcon/lazer-tarama/gexcel-heron> adresinden erişildi.
- PaksoytekniK şirketinin sayfasından 19 Eylül 2021 tarihinde <https://paksoytekniK.com.tr/index.php/paksoy-topcon/lazer-tarama/ip-s3> adresinden erişildi.
- Puente, I., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J. & Arias, P. (2013). Review of mobile mapping and surveying technologies. *Measurement*, 46(7), 2127-2145.
- RIEGL lazer ölçüm sistemleri şirketinin ana sayfasından 10 Temmuz 2021 tarihinde <http://www.riegl.com/> adresinden erişildi.
- Rodríguez-Martín, M., Sánchez-Aparicio, L. J., Maté-González, M. Á., Muñoz-Nieto, Á. L. & Gonzalez-Aguilera, D. (2022). Comprehensive Generation of Historical Construction CAD Models from Data Provided by a Wearable Mobile Mapping System: A Case Study of the Church of Adanero Ávila, Spain. *Sensors*, 22(8), 2922.
- Sánchez-Aparicio, L. J., Mora, R., Conde, B., Maté-González, M. Á., Sánchez-Aparicio, M. & González-Aguilera, D. (2021). Integration of a wearable mobile mapping solution and advance numerical simulations for the structural analysis of historical constructions: A case of study in San Pedro Church (Palencia, Spain). *Remote Sensing*, 13(7), 1252.
- Thomson, C. (2021), 3 types of terrestrial laser scanners 2 Ekim 2021 tarihinde <https://info.vercator.com/blog/3-types-of-terrestrial-laser-scanners> adresinden erişildi.
- Thomson, C., (2020), (What is SLAM?) 2 Ekim 2021 tarihinde <https://info.vercator.com/blog/what-is-slam> adresinden erişildi.
- Trimble 3D lazer tarama şirketinin ana sayfasından 10 Temmuz 2021 tarihinde <https://geospatial.trimble.com/3DS> canning adresinden erişildi.
- Ulvi, A. , Yiğit, A. Y. , Çelik, M. Ö. & Alptekin, A. (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure map: a case of Mersin University . *Mersin Photogrammetry Journal* , 3 (2) , 61-68 . DOI: 10.53093/mephoj.1036301
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S. & Mutluoğlu, O. (2015). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1) , 32-36. DOI: 10.18100/ijamec.41690
- Vassena, G. & Clerici, A. (2018). Open pit mine 3D mapping by tls and digital photogrammetry: 3D model update thanks to a slam based approach. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 1145-1148.
- Velas, M., Spanel, M., SleziaK, T., Habrovec, J. & Herout, A. (2019). Indoor and outdoor backpack mapping with calibrated pair of velodyne LiDARs. *Sensors*, 19(18), 3944.
- Velodyne lidar şirketinin ana sayfası, 10 Temmuz 2021 tarihinde <https://velodynelidar.com/> adresinden erişildi.
- Xu, S., Sun, X., Yun, J. & Wang, H. (2020). A new clustering-based framework to the stem estimation and growth fitting of street trees from mobile laser scanning data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3240-3250.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu

- Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(4), 94-101.
- Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng.*, 19, 331-345.
- Yakar, M., Yılmaz, H., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H. & Çelik, H. (2010). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3 Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Yıldız, F., Karabork, H., Kavurmacı, M. M., Mutluoğlu, O. & Goktepe, A. (2009). Monitoring of corrosion in fairy chimney by terrestrial laser scanning. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4(1), 86-91.
- Yu, Y., Li J., Guan H. and Wang C., 3D crack skeleton extraction from mobile LiDAR point clouds. *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2014, pp. 914-917, doi: 10.1109/IGARSS.2014.6946574.
- Z+F lazer tarayıcı sistemler şirketinin ana sayfasından 10 Temmuz 2021 tarihinde <https://www.zf-laser.com/Home.91.0.html?&L=1> adresinden erişildi.
- Zhou, S., Kang, F., Li, W., Kan, J., Zheng, Y. & He, G. (2019). Extracting diameter at breast height with a handheld mobile LiDAR system in an outdoor environment. *Sensors*, 19(14), 3212.



© Author(s) 2022.

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



Havasal LiDAR Nokta Bulutlarından Kentsel Yol Ağlarının Çıkarımı, Bergama Test Alanı

Mustafa Zeybek^{ID}

¹Selçuk Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Havasal LiDAR,
Nokta bulutu,
Yol,
Kentsel yol,
Segmentasyon,
Akıllı ulaşım.

ÖZ

Kentsel alanlarda ulaşımın en temel faktörü karayoludur. Karayolları kent içinde sürekli bir kullanım alanı olduğundan sürdürülebilir ve izlenebilir bir yapıda olmalıdır. Kentsel alanlarda yer alan yolların envanteri, proje ve planlarının temin edilmesi akıllı şehirlerin üretilmesi açısından önemli bir altyapıyı oluşturur. Navigasyon amaçlı kullanımın yanında kent planlarının üretilmesinde güncel durum tespiti açısından yol ağlarının haritalandırılması gerekir. Yersel ölçmelerle yol ağı ölçmeleri zahmetli, zaman alıcı ve ekonomik külfeti yüksektir. Gelişen teknolojiyle geleneksel ve yersel ölçme tekniklerine alternatif etkili ve geniş alanların haritalandırılmasına katkı sağlayan ölçme tekniklerinin kullanılması işlemleri kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada yol ağlarının yarı otomatik çıkarımı için bir metodoloji önerilmiştir. Önerilen metodolojide, ham Havasal LiDAR nokta bulutlarının ön işleme, yükseklik sapmalarının hesaplanması, düzlemsellik ve bağlantılı bileşen analizlerinden faydalanılmıştır. Bazı parametrelerin kullanıcı tarafından deneme yanılma yöntemiyle girilmesi nedeniyle yöntem yarı otomatik olarak çalışmaktadır. Çalışma alanı Harita Genel Müdürlüğü tarafından Havasal LiDAR ölçümlerinin gerçekleştirildiği Bergama test alanıdır. Elde edilen sonuçlar manuel çizimlerle görsel olarak karşılaştırılmış ve önemli oranlarda örtüşme sağlayan sonuçlar elde edilmiştir.

Extraction of urban road networks from aerial LiDAR point clouds, Bergama test site

Keywords

Airborne LiDAR,
Point cloud,
Road,
Urban road,
Segmentation,
Smart transportation.

ABSTRACT

The essential factor of transportation in urban areas is the highway. Since the highways are a continuous usage area in the city, they should be in a sustainable and traceable structure. Providing the inventory, projects, and plans of the roads in urban areas constitutes a substantial infrastructure for producing smart cities. Besides being used for navigation purposes, road networks should be mapped in order to determine the current situation in the production of city plans. Road network measurements with traditional measurements are laborious, time-consuming, and economically burdensome. With the developing technology, using measurement techniques that contribute to mapping effective and large areas as an alternative to traditional and terrestrial measurement techniques makes procedures more straightforward. In this study, a methodology for the semi-automatic extraction of road networks is proposed. The proposed methodology uses preprocessing of raw Aerial LiDAR point clouds, calculation of height deviations, planarity, and connected component analysis. The method works semi-automatically because the user enters some parameters through trial and error. The study area is the Bergama test area, where Aerial LiDAR measurements are carried out by the General Directorate of Mapping. The results obtained were compared visually with the manual drawings, and results were obtained with considerable overlap.

1. GİRİŞ

Karayolları hakkındaki bilgiler genellikle araç navigasyonu, geometrik standartlar ve akıllı ulaşım sistemleri hakkında konumsal uygulamalarda temel bilgi kaynaklarıdır (Sameen & Pradhan, 2016). Karayolunun yarı otomatik veya tam otomatik olarak çıkarılması ise yerel yönetimlerin kontrolündeki yolların belirli düzeyde güncellenmesi, bakım ve onarım işlemlerinde kritik bir öneme sahiptir.

Otoyolların haritalandırılması; geometrik standartlara uygun olup olmamasının test edilmesi, trafik kazaları, karayolu tasarımı proje ve yakın gelecekteki otoyol planlamaları gibi çeşitli amaçlara hizmet eden önemli bir yer edinmiştir (Gargoum vd., 2022). Işık Tespiti ve Mesafe ölçme veya kısa adıyla LiDAR teknolojisi (Vosselman & Maas, 2010), yol geometrisinin çıkarımında diğer tekniklere göre çok yüksek çözünürlüklü lazer tarama verileri sağlar (Antah vd., 2022; Gargoum vd., 2018). Özellikle Havasal (Airborne) LiDAR sistemleri, bağıl konumlandırması yüksek ve yoğun nokta bulutuna sahip topoğrafik verilerin üretilmesinde en yaygın ve yenilikçi bir teknolojidir (McManamon, 2019). LiDAR sistemlerinin temel bileşenleri, lazer tarama, Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) ve atalet ölçüm birimi (IMU) entegrasyonu ile tanımlanır (Vosselman & Maas, 2010). Havasal platformlar sayesinde çok geniş alanların haritalanması, temel koordinat ve karakteristik sinyal yansıma bilgilerinin toplanmasını çok kısa sürede gerçekleştirir (Zeybek, 2021). LiDAR sistemleri, diğer uzaktan algılama ve ölçme tekniklerine göre daha yüksek çözünürlüğe ve daha düşük maliyete sahiptir (Sameen & Pradhan, 2016).

Yolların çıkarımında yalnızca uzaktan algılama sensörlerinden değil aynı zamanda farklı sensör verilerinin entegrasyonu ile de geliştirilmiş algoritmalar literatürde görülmektedir (Liu & Lim, 2016; Sameen & Pradhan, 2016). Genellikle bu yöntemler otomatik ve yarı otomatiktir. Havasal LiDAR, geniş kapsamda ve yüksek doğrulukta karayolu envanter verilerinin kazandırılmasında önemli katkılar sunmaktadır. Bu tür veriler, karmaşık üç boyutlu (3B) nokta bulutlarından otomatik olarak hazırlanması planlanan çalışmalarda; geometrik standartların testi, kaza kör nokta analizi, yol bakım ve güncelleme çalışmalarında ve diğer uygulamalarda kritik bir öneme sahiptir.

Yolların çıkarımı için çok sayıda yöntem önerilmiştir (Ma vd., 2022; J. Wang vd., 2017; Zhu vd., 2021). Geleneksel yöntemler kullanarak karayolu etüt, proje ve haritalama faaliyetleri, karayollarının halihazırdaki basılı haritalar üzerinde manuel olarak sayısallaştırılarak da yorumlanmaktadır. Aynı zamanda uydu/hava görüntüleri yardımıyla karakteristik detaylar entegre edilmektedir (Wei vd., 2022). Geleneksel yöntemlerin en önemli dezavantajı, yorumlayıcı ve teknik elemanın yoğun işgücüne, zamana ve maliyete ihtiyaç duymasındır. Farklı çalışmalarda bu durum kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, teknik insan hatalarının ortaya çıktığı da bilinmektedir.

Güncel durumun tespitinde arazi ölçmeleri de yaygın kullanılan, özellikle gelişmekte olan ülkelerde tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde genellikle GNSS alıcıları ve total station gibi yersel ölçme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknik de üstte bahsedilen geleneksel yöntemle benzer hem zaman alıcı, maliyetli ve yoğun iş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu yaklaşımların yanında LiDAR teknolojisi de gelişmeye devam etmiş ve gelişmiş ülkelerde uygulamaya konulmuştur (Yermo vd., 2022). Başlangıçta yersel (statik) lazer tarama ile başlayan teknoloji, mobil ve havasal platformlara da entegre edilebilir hale gelmiştir (Wang vd., 2018). Literatürde geliştirilen algoritma ve ticari yazılımlar sayesinde de pratikte uygulanabilir bir teknik olmuştur. Bu konuda mobil LiDAR sistemlerinin yol çalışmalarında kullanılması için bazı standartlar da çıkarılmıştır (Olsen vd., 2013). Bu nedenle LiDAR teknolojisiyle geliştirilen her çalışma yol çıkarımına önemli katkılar sunmaktadır.

Literatürde genel yol ağlarının çıkarımında, yersel teknikler, uydu ve hava fotoğrafları, mobil LiDAR, yersel LiDAR ölçme teknikleri kullanılmıştır (Biçici & Zeybek, 2021; Cao vd., 2021; Yadav vd., 2021).

Bu çalışma, yüksek çözünürlüklü havasal kaynaklı LiDAR nokta bulutu verilerini kullanan bir metodoloji önerilmiş ve konumsal bilgilerden karayollarına ait bilgilerin çıkarılması için bir yöntem sunmaktadır.

2. YÖNTEM

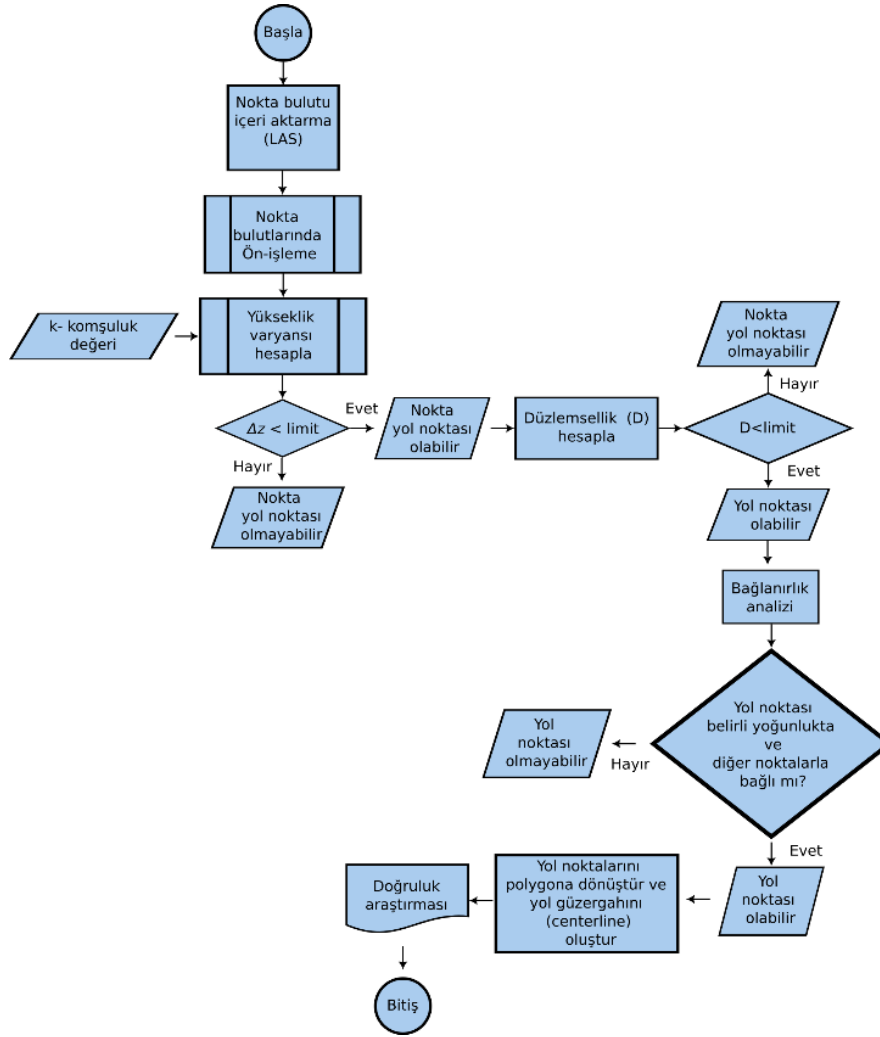
Bu çalışmada önerilen metodoloji için izlenen yol Şekil 1’de verilmiştir. Metodolojide yer alan detaylara ise aşağıdaki bölümlerde yer verilmiştir.

2.1. Çalışma Bölgesi ve Test Verisi

Bu çalışmada önerilen yöntemin test edilmesi amacıyla Bergama LiDAR verisi kullanılmıştır. Test verisi ölçmelerinde iki farklı sensör ve iki farklı uçuşu yüksekliğinden veri toplanmıştır (Kayı vd., 2015). Riegl firmasına ait LMS-Q1560 LiDAR sensörü kullanılarak 13 Ekim - 07 Kasım 2014 tarihleri arasında ölçüm yapılmıştır. Uçuş yüksekliği 1200 m ve sonucunda nokta yoğunluğunun metrekarede en az 8 nokta olacak şekilde, %25 bindirmeli 32 kolona göre yapılmıştır (Kayı vd., 2015). Daha detaylı bilgiye, Kayı vd. (2015) makalesinden erişim sağlanabilir. Bu test alanı içinde “riegl_1200_140.las” bölümü kullanılmıştır.

Koordinat referans sistemi WGS 84 / UTM zone 35N projeksiyon sisteminde tanımlanmıştır. Sınırlar ise 515482.8, 516482.8, 4330306, 4331306 (xmin, xmaxs, ymin, ymaks) şeklindedir. 1 km² alanda 21.94 milyon nokta, 21.85 nokta/m² yoğunluktadır. Bu alan içinde bir de değerlendirme bölgesi (100x200 m) belirlenmiş ve metodoloji sonuçları manuel çizimlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma alanı, çeşitli arazi özelliklerini barındırmaktadır ve test alanına uygun özellikler sahip (tepelik ve düzlük) bir bölge olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Önerilen metodoloji iş akış diyagramı

2.2. Metodoloji

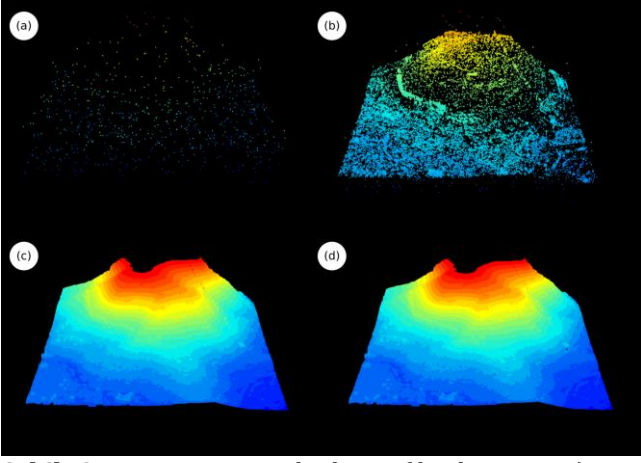
Elde edilmiş nokta bulutlarının işlem akışında ilk aşama, verilerin ön işlenmesidir. Bu aşamada çift nokta (duplikasyon) ve yer/yer üzeri nokta sınıflandırmaları yapılmıştır. Nokta bulutlarında koordinatların birbirine çok yakın olduğu durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumda veri işleme aşamalarının performansı düşmekte ve işlem süresi uzamaktadır. Bu nedenle çift noktaların tespit edilip silinmesi gerekmektedir. Bu aşamadan sonra uyumsuz noktalarda (gürültü-noise) tespit edilmelidir. Bunun için yaygın kullanılan iki algoritma bu aşamada incelenmiştir. İzole vokselleme (IVF) dayalı uyumsuz noktalar (gürültü) segmentasyon için Lastools programı lasnoise fonksiyonuna benzer bir algoritmadır ve çevresindeki $3 \times 3 \times 3 = 27$ vokselde yalnızca birkaç başka nokta bulunan noktaları bulur (Isenburg, 2021; Roussel & Auty, 2019). İstatistiksel uyumsuzluk silme (SOR) ise diğer filtreleme algoritmasıdır (Rusu & Cousins, 2011). Her nokta için, k-en yakın tüm komşularına olan ortalama mesafeyi hesaplar. Ortalama mesafeden daha uzak noktalar belirli bir katta (çarpan) standart sapmayı gürültü olarak kabul eder ve sınıflandırır. IVF ve SOR filtrelemeleri için farklı parametreler uygulanmaktadır. Bu çalışmada IVF için optimum; çözünürlük değeri 5 ve nokta sayısı 6 olarak belirlenmiştir. SOR için komşuluk değeri 10, standart sapma değer katsayısı 3 olarak

girilmiş ve Şekil 2'deki gibi veriler temizlenmiştir. IVF algoritması detay kayıplarını minimumda tuttuğu için tercih edilmiştir.

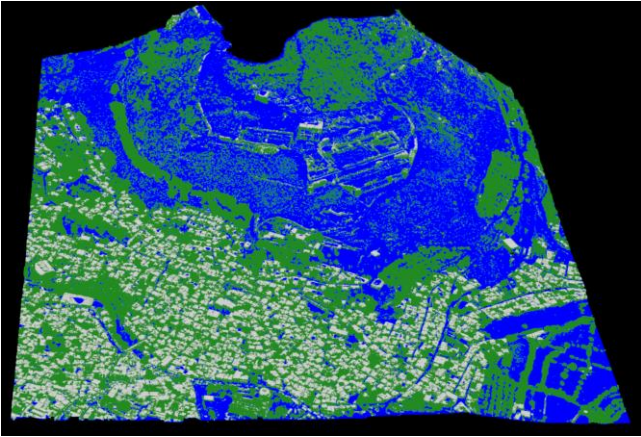
Gürültü temizlenmesi sonrası Bez Simülasyon Filtreleme (CSF) algoritması (Zhang vd., 2016) ile yer ve yer üzeri noktalar tespit edilmiştir. Aynı zamanda yer üzeri noktalar geometrik karakteristiğine göre (saçılım ve düzlemsellik kriterleri) bitki örtüsü ve binalar olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Bu aşamadan sonra yoğunluk (intensity) değerleri incelenmesi yapılmıştır. Bu aşamada ise yoğunluk düzeltilmesi yapılmalıdır, ancak test verisinde ölçüm izi (trajectory) bulunmadığından mesafe bazlı düzeltme yapılamamıştır. Bunun yerine uygun bir limit değeri belirlenmiş ve özellikle kent dışı noktaların (zemin, kayalık ve bitki örtüsü vb.) yüksek yansıma değerine sahip olan noktalar tespit edilerek silinmiştir (Şekil 4).

İşlem akışının ön-işleme sonrası standart sapma değerlerini aşan noktaların filtrelenmesi aşamasıdır. Standart sapma aşağıdaki Denklem 1'deki gibi hesaplanmıştır.

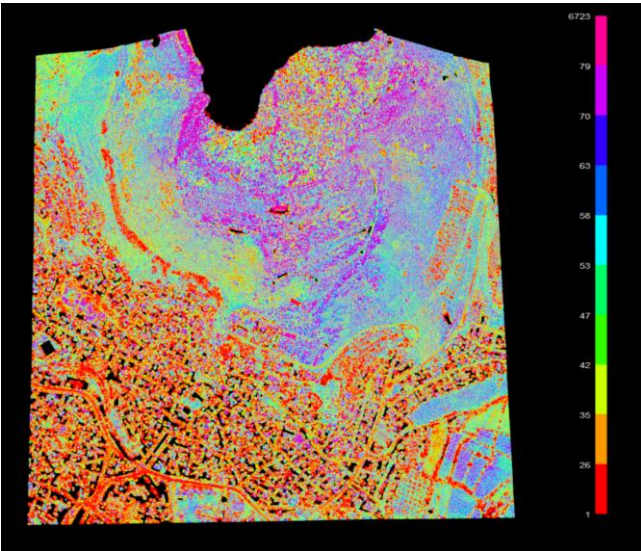
$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x - \bar{x})^2}{k}} \quad (1)$$



Şekil 2. Uyuşumsuz noktaların filtrenmesi a) IVF filtreleme sonrası uyuşumsuz noktalar, b) SOR filtreleme sonrası uyuşumsuz noktalar, c) IVF sonrası temiz nokta bulutları, d) SOR filtreleme sonrası temiz nokta bulutları.



Şekil 3. Yer ve yer üzeri noktaların sınıflandırılması



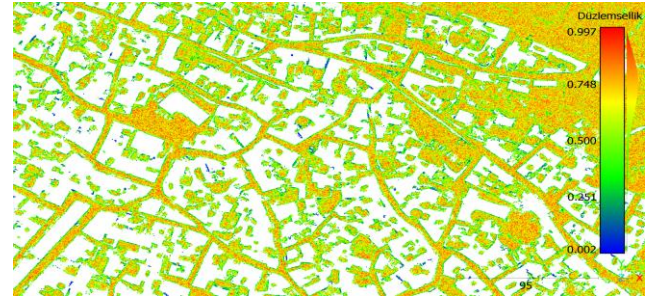
Şekil 4. Yer noktalarının sinyal yoğunluk (intensity) değerleri

Burada σ standart sapma ve x her bir nokta bulutundaki nokta yüksekliğini ve k , nokta sayısını \bar{x} ise k noktanın yükseklik ortalamasını belirtir.

Yer noktalarının filtrenmesi mükemmel olmadığından özellikle nokta bulutlarının kenar bölgelerinde oluşacak sapmalar ve yol yüzeyinde duran

araçların da filtrenmesi amacıyla Denklem 1'deki standart sapma filtrenmesi noktaların Z bileşenine uygulanmıştır. İş akışındaki standart sapma için limit değeri ise 0.5 m olarak seçilmiştir. Bu parametre farklı veri ortamlarında yenilenmesi gerekebilir.

Düzlemsellik değerinin hesaplanması, özdeğerlere göre noktaların komşu noktalarla ilişkisine bakılarak yapılmıştır. Bu amaçla temel bileşenler analizi (PCA) kullanılmıştır. Armadillo princomp fonksiyonu bu işlemi R programlama diline göre daha hızlı hesapladığından R Armadillo ilişkisi oluşturularak C++ programlama dili ile cebirsel çözüm yapılmıştır (Eddelbuettel & Sanderson, 2014; Roussel & Auty, 2019; Team, 2021). PCA sayesinde bileşenler arasındaki korelasyon en aza indirilir ve tekrarlanabilirlik artırılmaya çalışıldığından düzlemselliği sağlayan noktalar 1 değerine yaklaşırken düzlemsellikten uzaklaşan noktalar ise 0'a yaklaşmaktadır (Şekil 5). Bu sayede standart sapma farkı sonrası elemine edilen noktalar haricinde hala düzlemsellikten uzak noktalar bu sayede filtrelenebilmektedir.



Şekil 5. Düzlemsellik analizi sonrası nokta bulutlarının 0-1 aralığındaki düzleme yakınlığının tespit edilmesi.

Bu aşamadan sonra, 0.7 ve üzeri düzlemsellik değerine sahip veriler için eşik değeri uygulanmış (Şekil 6), yol sınırları ve diğer noktaların filtrenmesi sağlanmıştır.



Şekil 6. Düzlemsellik analizi sonrası limit uygulaması 0.7 ve üzeri düzlemselliğe sahip noktalar.

Metodolojide son aşama olarak önerilen, yol dışında kalan artık noktaların filtrenmesi çalışmasıdır. Bunun için yol noktalarının birbirine yol dışındaki noktalara göre daha yakın olması varsayılır. Bunun içinde bağlanabilirlik (connectivity) analizi yapılmıştır (Şekil 7). Ücretsiz bir yazılım olan CloudCompare yazılımı bu amaçla kullanılmıştır (Girardeau-Montaut, 2019). Bağlanabilirlik analizinde iki temel parametre vardır bunlar komşuluk mesafesi ve küme içindeki minimum nokta sayısıdır. Cloudcompare yazılımı noktalar

arasındaki mesafe için Octree algoritmasını kullanır ve 8 komşuluk bölgesini uygulayarak gruplandırmayı yapar. Gruplandırmanın ikinci parametresi ise minimum nokta sayısıdır. Minimum nokta sayısını sağlamayan her bir nokta en yakın gruba entegre edilir. Eğer mesafe kriterini ve minimum nokta sayısını sağlamayan nokta var ise nokta bulutlarında bu noktalar uyumsuz noktalar ve gruplandırma yapılmadan silinmektedir. Test alanındaki uygulama sonunda Şekil 8'deki sonuç elde edilmiştir.



Şekil 7. Bağlanabilirlik analizi etiketlemesi (connected component labelling)



Şekil 8. Çıkarılan yollar

Yolların sınırlarına dayalı kapalı poligon üretimi mümkündür. Bunun için QGIS (Team, 2022) açık kaynak yazılımı kullanarak veya R *concaman* paketi kullanılarak alpha-shapes algoritması temelli poligonlar üretilmektedir (Vaidyanathan, & Agafonkin, 2020).

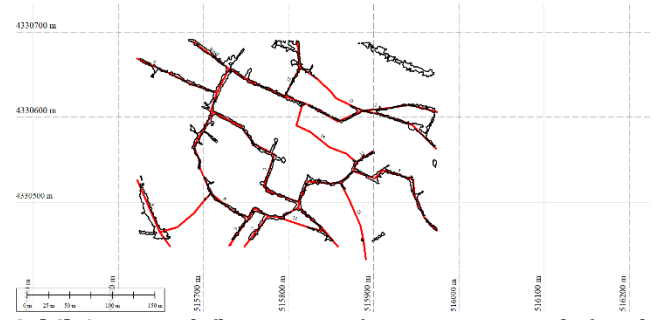
3. BULGULAR

Sonuç olarak doğruluk incelemesi ve değerlendirilmesi amaçlı çalışılan 100x200 m boyutlarındaki bir alanda manuel olarak, yaklaşık sınırlarıyla çizilmiş yol orta hatları ile poligonların uyumları görsel olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlarla önerilen metodoloji yarı otomatik bir yöntemdir.

LiDAR verilerinin kullanılması sebebiyle bazı açık kaynaklı hava fotoğrafları ve uydu fotoğrafları gibi düşük çözünürlüklü uzaktan algılama verilerine göre daha yüksek çözünürlük barındırması sebebiyle avantajlıdır. Bunun da ötesinde elde edilen bilgiler yalnızca 2B değil 3B bilgilerdir.

Test alanında 16 farklı yol güzergahı tespit edilmiştir. Bunlar manuel olarak hem World Image verisinden hem de ham LiDAR verisinden çizilmiştir (Şekil 9). Diğer yandan otomatik olarak elde edilen yol verileri de aynı koordinat sisteminde üretilmiştir. Tüm

veriler UTM projeksiyonunda ve 35 derece Kuzey Dilim Orta Meridyeninde üretilmiştir.



Şekil 9. Manuel (kırmızı çizgi) ve yarı otomatik (siyah poligon) çıkarılan yollar

Otomatik yöntemin avantajlarından bahsedilirse, açık erişimli programlamaya müsait basit bir metodolojidir. Verilerin daha verimli ve doğru kullanılmasında etkili sonuçlar üretmiştir. Özellikle kullanılan temel nokta bulutları analizleri ile erişilebilir ve tekrarlanabilir bir metodolojidir. Farklı programlama dillerinde uygulanabilir ve iyileştirmeye açıktır.

Dezavantajlarına değinilirse, LiDAR nokta bulutlarının ölçümünde kullanılan tüm ham verilerin olması önemlidir. Aksi halde yoğunluk verilerinin düzeltilmesi mümkün değildir. Bu çalışmada her ne kadar yoğunluk (intensity) verilerinin filtrelenmesinde limit değeri kullanılsa da yeterli ve istenildiği gibi sonuç alınamamıştır. Bazı bölgelerde veri kayıplarına yol açmaktadır. Ölçüm açısı ve bloklardaki zamansal farklılıklar ve güneş ışınları kaynaklı yoğunluk değerleri aynı objelerde dahi farklı değerlerde yoğunluk değeri üretebilmektedir.

Yolların sınıflandırılmasında önemli bir kaynağın etkili kullanılması diğer kaynaklara olan ihtiyacı azaltmaktadır. Nokta bulutlarının RGB değerlerinin olmaması da önemli bir dezavantajdır. RGB tabanlı filtrelemelerin uygulanamaması da önemli bir eksiklik oluşturmuştur. Nokta bulutlarının geometrik karakteristiklerinin hesaplanmasında veri işleme süresi oldukça uzun olabilmektedir. Teknolojik gelişmelerle veya ağ tabanlı (bulut) çoklu işlemcilerle veri işleme süresi kısaltılmalıdır. Sonuçları daha doğru verilerle kontrol edilmesi önemlidir. Burada insansız hava araçları gibi ölçme teknikleri kullanılarak güncel ortofotolarla sonuçlar desteklenmelidir.

4. SONUÇ

Günlük hayatımızda yollar kentsel ulaşımında önemli bir yer edinmiştir. Kentsel planlama ve uygulamacılar akıllı şehirlerde altyapıların oluşturulmasında havasal platformlardan elde edilen ölçme verilerinin hızlı toplanmasına ihtiyaç duymaktadır. LiDAR ölçme teknikleri kullanılarak karayolu ağı bilgilerinin yarı otomatik olarak çıkarılması, özellikle kentsel alanlarda, nokta bulutlarındaki yoğun detaylardaki karmaşıklıklarla manuel çıkarımlarda temel bazı problemlere çözüm üretmektedir.

Bu çalışmada görüldüğü üzere, yalnızca geometrik nokta karakteristiklerinden yola çıkılarak mevcut literatürde kabul görmüş algoritmalar yardımıyla kentsel yol ağının verimli bir şekilde yüksek

çözünürlüklü LiDAR verilerinden çıkarılması için bir yaklaşım sunulmuştur. Burada, karayollarının çıkarımında verilerin ön işlenmesi ile gürültü ve duplikasyonlar giderilmiş, yer/yer üzeri noktalar sınıflandırılmış, yükseklik standart sapması yaklaşımıyla filtreleme yapılmış, düzlemsellik yardımıyla da yol dışındaki nesnelere sınıflandırılmış, bağlantılı nesne etiketleme ile yol dışındaki objeler elemine edilmiş ve son olarak yol noktaları kapalı alanlar (poligon) haline getirilmiştir.

Sonuç olarak, yolların yarı otomatik çıkarılması ve tespit edilmesinde verimli ve etkili bir metodoloji ortaya koyulmuştur. Metodoloji, yol tespitini gerçekleştirerek yüksek oranda kentsel yol ağlarını ortaya çıkarmıştır. Fakat yol olmayan bazı alanlarında yol olarak tespit edildiği görülmüştür. Bunun temel nedeni ise yol karakteristiğine benzer meydan, park alanları gibi yol ile geometrik ayrımı mümkün olmayan alanlar olduğu görülmüştür. Bölgede bulunan 16 yol güzergahından 4 güzergâh önerilen metodoloji ile çıkarılamamıştır. Bunun temel nedeni ise yol genişliklerinin oldukça dar olması, nokta yoğunluğunun yeterli olmaması ve filtrelemelerin veri yoğunluğunun az olduğu yerlerde noktaları elemine etmesidir. Genel anlamda bakıldığında ise yüksek çözünürlüklü LiDAR verilerinden yarı otomatik olarak kentsel alanlarda yol ağlarının çıkarılabileceği değerlendirilmiştir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makalede kullanılan test verisi Harita Genel Müdürlüğü'nün Bergama test verisinin bir bölümünü içermektedir. Bu çalışmanın ortaya çıkarılmasında veri paylaşımında bulunan kuruma teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkısı

Veri toplama ve ham veri analizi dışındaki tüm analizler ve makalenin yazımı yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Antah, F. H., Khoiry, M. A., Maulud, K. N. A. & Ibrahim, A. N. H. (2022). Factors Influencing the Use of Geospatial Technology with LiDAR for Road Design: Case of Malaysia. *Sustainability*, 14(15).
 Biçici, S. & Zeybek, M. (2021). An approach for the automated extraction of road surface distress from a UAV-derived point cloud. *Automation in Construction*, 122, 103475. doi:10.1016/j.autcon.2020.103475
 Cao, L., Wang, Y. & Liu, C. (2021). Study of unpaved road surface erosion based on terrestrial laser

scanning. *Catena*, 199. doi:10.1016/j.catena.2020.105091
 Edelbuettel, D. & Sanderson, C. (2014). RcppArmadillo: Accelerating R with high-performance C++ linear algebra. *Computational Statistics & Data Analysis*, 71, 1054-1063. doi:10.1016/j.csda.2013.02.005
 Gargoum, S. A., El-Basyouny, K., Froese, K. & Gadowski, A. (2018). A Fully Automated Approach to Extract and Assess Road Cross Sections From Mobile LiDAR Data. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(11), 3507-3516. doi:10.1109/Tits.2017.2784623
 Gargoum, S., Karsten, L., El-Basyouny, K. & Chen, X. (2022). Enriching Roadside Safety Assessments Using LiDAR Technology: Disaggregate Collision-Level Data Fusion and Analysis. *Infrastructures*, 7(1). doi:10.3390/infrastructures7010007
 Girardeau-Montaut, D. (2019). Cloudcompare GPL software version 2.10. Erişim Linki <https://www.danielgm.net/cc/>. Erişim tarihi: 08 December 2020
 Gombin, J., Vaidyanathan, R. & Agafonkin, V. (2020). concaveman: A Very Fast 2D Concave Hull Algorithm (Version R package version 1.1.0). Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=concaveman>
 Isenburg, M. (2021). LAStools—Efficient tools for LiDAR processing.
 Kayı, A., Erdoğan, M. & Eker, O. (2015). OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS-Q1560 ile Gerçekleştirilen LiDAR Test Sonuçları. *Harita Dergisi*, 153.
 Liu, L. & Lim, S. (2016). A framework of road extraction from airborne lidar data and aerial imagery. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 263-281. doi:10.1080/14498596.2016.1147392
 Ma, H. C., Ma, H. C., Zhang, L., Liu, K. & Luo, W. J. (2022). Extracting Urban Road Footprints from Airborne LiDAR Point Clouds with PointNet plus plus and Two-Step Post-Processing. *Remote Sensing*, 14(3).
 McManamon, P. F. (2019). LiDAR Technologies and Systems.
 Olsen, M. J., Roe, G. V., Glennie, C., Persi, F., Reedy, M., David Hurwitz, ... Knodler, M. (2013). Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications. Retrieved from <https://www.qgis.org/>
 Roussel, J. R., Auty, D., De Boissieu, F., Meador, A. S. & Bourdon, J. F. (2018). lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry applications. *R package version*, 1(1).
 Rusu, R. B. & Cousins, S. (2011). Point cloud library (pcl). 2011 IEEE international conference on robotics and automation.
 Sameen, M. I. & Pradhan, B. (2016). A Simplified Semi-Automatic Technique for Highway Extraction from High-Resolution Airborne LiDAR Data and Orthophotos. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(3), 395-405. doi:10.1007/s12524-016-0610-5
 Team, Q. D. (2022). QGIS Geographic Information System

- Team, R. C. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Erişim Linki <https://cran.r-project.org/>. Erişim tarihi: 13/10/2021
- Vosselman, G. & Maas, H. G. (2010). Airborne and Terrestrial Laser Scanning: Whittles Publishing.
- Wang, J., Hu, Z. Q., Chen, Y. Y. & Zhang, Z. Q. (2017). Automatic Estimation of Road Slopes and Superelevations Using Point Clouds. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 83(3), 217-223. doi:10.14358/Pers.83.3.217
- Wang, R. S., Peethambaran, J. & Chen, D. (2018). LiDAR Point Clouds to 3-D Urban Models: A Review. Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 11(2), 606-627. doi:10.1109/Jstars.2017.2781132
- Wei, C. T., Tsai, M. D., Chang, Y. L. & Wang, M. C. J. (2022). Enhancing the Accuracy of Land Cover Classification by Airborne LiDAR Data and WorldView-2 Satellite Imagery. ISPRS International Journal of Geo-Information, 11(7).
- Yadav, M., Khan, P., Singh, A. K. & Lohani, B. (2021). An automatic hybrid method for ground filtering in mobile laser scanning data of various types of roadway environments. Automation in Construction, 126.
- Yermo, M., Rivera, F. F., Cabaleiro, J. C., Vilarino, D. L. & Pena, T. F. (2022). A fast and optimal pathfinder using airborne LiDAR data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 183, 482-495.
- Zeybek, M. (2021). Inlier Point Preservation in Outlier Points Removed from the ALS Point Cloud. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 49(10), 2347-2363. doi:10.1007/s12524-021-01397-4
- Zhang, W. M., Qi, J. B., Wan, P., Wang, H. T., Xie, D. H., Wang, X. Y. & Yan, G. J. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. Remote Sensing, 8(6), 501. doi:10.3390/rs8060501
- Zhu, J. F., Sui, L. C., Zang, Y. F., Zheng, H., Jiang, W., Zhong, M. Q. & Ma, F. (2021). Classification of Airborne Laser Scanning Point Cloud Using Point-Based Convolutional Neural Network. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(7).



© Author(s) 2022.

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



Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin Yersel Lazer Tarama Teknikleri ile Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulması Sanal Gerçekliğe Hazırlamanın Değerlendirilmesi

Şafak Fidan^{*1}, Ali Ulvi²

¹Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mersin, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalı, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tarsus Aziz Pavlus,
Kilisesi,
Yersel Lazer Tarama,
3B Modelleme,
Sanal Gerçeklik.

ÖZ

Türkiye uygarlık tarihi içerisinde birçok medeniyete ev sahipliği yapmış bir coğrafyanın üzerinde bulunmaktadır. Dolayısıyla kültürel miras niteliği taşıyan yapılarda Dünya'da en ön sıralarda gelmektedir. Bu kültürel miras değerleri Dünya ve uygarlık süreci açısından önem taşımaktadır. Bu mirasın korunması, yenilenmesi ve kuşaklar boyunca aktarılması insanlığın önemli görevlerinden biridir. Ayrıca tanıtılmasında, yerinde görme olanağı olmayanlar için modern teknik ve uygulamalar kullanılarak gelişen bilgi işlem teknolojileri aracılığı ile yapıyı yakına getirmek gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için objenin üç boyutlu (3B) modelinin yersel lazer tarama (YLT) tekniği ile üretilmesi ve sanal gerçeklik ortamlarına hazırlanması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada YLT tekniği ile üretilen 3B modellerin sanal gerçeklik ortamlarında yetkinliği araştırılmıştır. Bunun için tarihi ve kültürel önemi çok büyük olan Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinde yersel lazer tarayıcı ile veri toplama çalışmaları yapılmış, veri setleri uygun yazılım ile işlenerek, yapının 3B modeli oluşturulmuştur. Üretilen 3B modelin sanal gerçeklik uygulamalarında yetkinliğinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Evaluation of Preparation for Virtual Reality by Creating a Three-Dimensional Model of Tarsus St. Paul Church with Terrestrial Laser Scanning Techniques

Keywords

Tarsus St. Paul Church,
Terrestrial Laser Scanning,
3D Modeling,
Virtual Reality.

ABSTRACT

Turkey is located on a geography that has hosted many civilizations in its history. Therefore, it is at the forefront of the world in works of cultural heritage. These cultural heritage values are important for the world and the civilization process. Preserving, renewing and transferring this heritage across generations is one of the important duties of humanity. In addition, it is necessary to bring the work closer by means of information processing technologies developed by using modern techniques and applications for those who do not have the opportunity to see it on site. In order to achieve this, it is important to produce a three-dimensional (3D) model of the object with terrestrial laser scanning (YLT) technique and to prepare it for virtual reality environments. In this study, the competence of 3D models produced by YLT technique in virtual reality environments was investigated. For this, Tarsus St. Paul Church, which has a great historical and cultural importance, has been determined as the study area. In Tarsus St. Paul Church, data collection studies were carried out with a terrestrial laser scanner, data sets were processed with appropriate software, and a 3D model of the work was created. The advantages and disadvantages of the competence of the produced 3D model in virtual reality applications were evaluated.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(safakfidan@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9772-0968

*(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Fidan, Ş. & Ulvi, A. (2022). Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin Yersel Lazer Tarama Teknikleri ile Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulması Sanal Gerçekliğe Hazırlamanın Değerlendirilmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 4(2), 60-70

1. GİRİŞ

Ülkemizin bulunduğu coğrafya tarihsel süreç içerisinde birçok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Dolayısıyla bu uygarlıkların kalıntılarını coğrafyada çokça rastlanmaktadır. Bu kültürel mirasın sadece ülkenin değil tüm insanlığın ortak değeri olduğu unutulmamalıdır. Bu mirasın korunması, onarılması ve çağdaş sunum teknikleri ile insanlığın ortak mirasına kazandırılması önemlidir.

3B lazer tarama, objeye zarar vermeden ve objeye ilişki kurmadan yürütülen bir veri elde etme yöntemidir (Yastikli, 2007; Abellan vd., 2014; Cheng vd., 2018). Günümüzde kültürel mirasın belgelenmesinde ve sunulmasında Yersel Lazer Tarayıcılar (YLT) ile 3B veri toplama, tarihi yapılar için 3B bilgi depolamanın bir yolu olarak uygulanmaktadır. Bu veriler ile gelecekte yapıtlar ilgili daha fazla değerlendirme yapmak için de kullanılabilir. YLT teknolojileri ile hızlı, doğru ve sonraki analizler için kapsamlı veriler elde edilebilir.

Bilgisayar teknolojileri ve internet, önceki yüzyılda temelleri atılarak yüzyılın yarısından sonra büyüyerek gelişmekte ve yaşamın her alanında etkin olmaya ve yerleşmeye başlamıştır. Bir savunma projesi olarak geliştirilmeye başlanmış olan internet teknolojileri günümüzde vazgeçilmez bir gerçek olarak her alanda karşımızda durmaktadır. Bilgisayar teknolojilerindeki bu hızlı gelişme ile çeşitli meslek disiplinlerinin kullandığı eski teknolojileri yavaşça bazen de çok hızlı olarak yok etmektedir. Kullanılan bilgisayarlardaki yazılım ve donanımlar her gün geliştirilmekte ve kapasiteler sürekli artmaktadır. Bu durumun sonucu olarak birçok meslek disiplinini bir arada etkileyen sanal gerçeklik (virtual reality) kavramı ile karşılaşmaktadır.

Sanal gerçeklik kavramı sanal (virtual) ve gerçeklik (reality) kelimelerinde oluşan bileşik bir kelimedir. Türkçede bu iki kelime zıt anlamlar taşımakta olup birleşiminde anlam kaymasına da sebebiyet vermektedir. Sanal gerçeklik kavramını tanım olarak incelediğimizde sanal kelimesi Türk Dil Kurumu (TDK) sözlüğüne göre "gerçekte yeri olmayan, zihinde tasarlanan, mevhum, farazi, tahmini"; gerçeklik ise "gerçek olan, var olan şeylerin tümü, hakikat, hakikilik, şeniyet, realite, reellik" şeklinde tanımlanmaktadır (TDK, 2019). Buradan da görüleceği üzere gerçeklik sözcüğü ile sanal gerçeklik ifadesi anlam kayarak yeni bir kavrama doğru evirilmektedir.

Sanal ve gerçek kavramlarında ortamların hangilerinin sanal hangilerinin gerçek olacağı da felsefi olarak ayrı bir tartışma konusudur. Ama günümüzde elektronik ve internet destekli ortamları çağrıştıran bir kavram olarak kullanılmaktadır.

Sanal gerçeklik bilgisayar destekli olarak tanımlanan, dünya ortamları ile olabildiğince örtüştürülmeye çalışılan ve kullanıcıların içerisinde gezinebildiği, düzeltebildiği ve eklemeler yapabildiği tecrübeler bütünüdür. Başka bir deyimle insan, makine ve ortam birlikteliğinin çeşitli bilgisayar ortamlarında tanımlanmış halidir denilebilir. Genelleyecek olursak, bilgisayar ortamında var olan üç boyutlu sanal dünyanın etkileşimi olarak ifade edilir (Coates, 1992).

Sanal gerçeklik teknolojileri ile de yapıtı yakına getirmek için objenin üç boyutlu (3B) modelinin YLT

tekniki ile üretilmesi ve sanal gerçeklik ortamlarında değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Banfi (2020) arkeolojik antik harabelere uygulanan bina modelleme, 3B ve sanal gerçeklik adlı çalışmasında yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile kullanıcılar için sanal ortamlar arasında yeni etkileşim seviyeleri ile ölçümün değeri, 3B çizim ve dijital modelleme araştırılmış ve mimarlar, mühendisler, haritacılar, arkeologlar, restoratörler ve sanal turistler ile ilişki kurabilen bütünsel bir modelin oluşturulmasına yönelik bir yaklaşım önerilmektedir.

Dinis vd. (2020) mimarlık, mühendislik ve mühendislikte proje iletişimini geliştirmek inşaat sektörü için sanal gerçeklik ve lazer taramayı birleştirme adlı çalışmalarında bina bilgisi ve sanal gerçekliği birleştirerek inşaatlarda iletişim iyileştirilmesi için bir model önerilmektedir.

Choromanski (2019) çok kaynaklı 3B verilerden kültürel mirasın görselleştirilmesi için sanal gerçeklik uygulamalarının geliştirilmesi adlı çalışmalarında kültürel mirasın sanal sunumu için yüksek kaliteli fotogrametrik 3B modellerin, sanal gerçeklik teknolojileri ve gelişmiş bir görselleştirme kombinasyonu ile kültürel miras alanında araştırma kadar popülerleştirme açısından da çok yararlı olabilecek neredeyse gerçek dünya deneyimi biçiminde etki yaratabileceğini öngörmektedir. Tschirschwitz vd. (2019) Lazer tarama ve 3B modelleme etkileşimli olarak bir Osmanlı kalesinin sanallaştırılması adlı çalışmalarında İstanbul, Türkiye'de İstanbul Boğazı'nda bulunan bir Osmanlı kalesi olan Rumeli Hisarı'nın sanal bir 3B modelinin oluşturulması ve Unity oyun motoruna veri entegrasyonu için işlenmesi sunulmaktadır.

Kharroubi vd. (2019) 3B nokta bulutlarının sınıflandırılması ve entegrasyonu ile sanal gerçeklik ortamı adlı çalışmalarında gerçek zamanlı olarak ve sürekli olarak bir sanal gerçeklik (VR) ortamında birkaç milyar noktadan oluşan nokta bulutlarını sınıflandırmak ve görselleştirmek için kapsamlı bir yaklaşım önermektedirler.

Büyüksalih vd. (2020) sanal ziyaretlerle geçmişin bilgisini korumak: 3B'den İstanbul Çatalca İnceğiz Mağaralarında lazer taramadan sanal gerçekliğe görselleştirme adlı çalışmalarında İstanbul'un Çatalca ilçesinde bulunan İnceğiz mağaralarının sanal bir 3B modelinin oluşturulması ve Unity 3B oyun motoruna entegrasyonu hakkında bir araştırma sunmaktadır.

Bu çalışmada YLT tekniği ile üretilen 3B modellerin sanal gerçeklik ortamlarında etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışma için tarihi ve kültürel önemi çok büyük olan Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi belirlenmiştir. Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinde FARO marka FocusS 350 model YLT ile veri toplama çalışmaları yapılmış, veri setleri SCENE yazılımı ile işlenerek yapıtın 3B modeli oluşturulmuştur. Üretilen 3B modelin sanal gerçeklik uygulamalarında kullanılabilirliğinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

2. YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİ (YLT)

Yersel olarak 3B modelleri elde etmek için günümüzde yaygın olarak üç farklı yöntem kullanılmaktadır: (i) Yakın mesafeli fotogrametrisi; (ii) Yersel Lazer Tarama (YLT); (iii) Her iki tekniğin bir kombinasyonu.

Bu yöntemler optik veya aralıklı 3B veri toplamaya dayalıdır, girişimsizdir, arkeolojik nesnelere hasar görmesini önler ve hacimsel geometrilerin dijital dokümantasyonunu ve görselleştirilmesini sağlar. Hangi yöntemin kullanılacağı araştırılan nesne veya alana, kullanıcının önceki deneyimine ve diğerlerinin yanı sıra mevcut bütçeye ve zamana bağlıdır (Lambers & Remondino, 2009; Doğan & Yakar, 2018).

2.1. Yersel Lazer Tarayıcılarda Ölçme Yöntemi

En genel anlamda, 3B sayısallaştırma olarak da adlandırılan 3B lazer tarama, çok sayıda X, Y ve Z koordinatları elde etmek için, geri dönen mesafe sinyalleri üreten, üç boyutlu bir veri toplama cihazının kullanılmasıdır. Ayrıca, noktaların her biri için kayıtlı yoğunluk bilgisi ve Red Green Blue (RGB) değerleri belirlenir. Ölçülen her nokta için, uzayda, küresel veya yerel bir koordinat sisteminde X, Y ve Z koordinatları belirlenir. Tüm bu noktaların toplanması "nokta bulutu" olarak tanımlanır. Nokta bulutu verileri her bir nokta için X, Y ve Z (RGB ve yoğunluk) değerlerini içerir (Staiger, 2003; Yakar vd., 2005).

Lazer tarama, kısa sürede çok sayıda üç boyutlu ölçümün toplanmasını sağlar. Yoğunluk değerlerine sahip yerel bir koordinat sisteminde bir nokta bulutu oluşturur; RGB değerleri gibi ek bilgiler genellikle dahili veya harici dijital kameralar tarafından sağlanır (Ulvi vd., 2015). Lazer tarama ile oluşturulan nokta bulutu kendi başına faydalı olsa da, genellikle sadece bir amaca yönelik bir araçtır. Lazer tarama genellikle 2B kesitler, profiller ve planlar ve 3B modeller oluşturmak için yüzey bilgilerini kaydetmek için kullanılır (Yakar vd., 2010a; Yakar vd., 2010b). Lazer tarayıcılar yerden çalışabilir veya bir uçağa entegre edilebilir. İlki yersel veya karasal lazer tarama (YLT) olarak adlandırılırken, ikincisi havadan lazer tarama veya LiDAR olarak adlandırılır.

YLT' ler yatay ve düşeyde dönebilir ve cihazdan hedefe yansımak üzere gönderilen ışınların emisyon ve sürelerini ölçme ilkesine dayanırlar (Baltsavias, 1999; Abellán vd., 2014; Yılmaz & Yakar, 2016a).

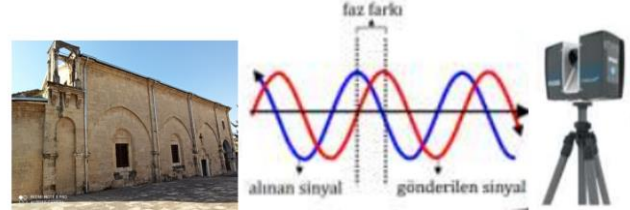
Time-of-flight (uçuş zamanlı mesafe belirleme) ve phase-shift (faz farkı) olmak üzere iki sınıfta ölçüm yapabilenleri mevcuttur (Ulvi & Yakar, 2014).

YLT bünyesinde yüksek enerjili bir lazer ışığı üretir ve hedef objeye gönderilir. Ardından tarayıcının algılayıcı sensörü objeden geri dönen ışığı algılar (Alonso vd., 2011; Altuntas vd., 2007; Yılmaz vd., 2009). Tarayıcı, gönderdiği her lazer ışınının gidiş ve dönüş süresini kaydeder. Ardından sensör tarafından işaretlenen objeler ile gönderilen ışın arasındaki mesafeyi ve yansıtma değerini ölçer. Aradaki mesafe ışığın hedefe gidiş ve dönüşündeki geçen süreye göre hesaplanır (Meng vd., 2010; Polat, 2020; Oruç & Öztürk, 2021).

Uygulamada kullanılan YLT faz farkı yöntemi ile ölçüm gerçekleştirilmektedir. YLT sensörünün periyodik

olarak yaydığı sinyaller hedefe çarpıp döndükten sonra yine YLT üzerindeki sensörler yardımı ile algılanır. Giden ve gelen sinyallerin faz farkları karşılaştırılarak uzaklıklar hesaplanır (Çelik vd., 2020). Şekil 1' de YLT ölçü ilkesi görülmektedir.

YLT' lar çoklu nokta barındırma, uzak mesafelerde ölçüm yapabilme ve tarama hızlarında çeşitlilik sağlarlar (Ulvi, 2021).



Şekil 1. Yersel Lazer Tarayıcı Ölçü prensibi (Ulvi & Yakar, 2014)

3B görüntünün elde edilebilmesi için lazer tarayıcıdan çıkan ışının, görüntüsünün elde edilmesi istenen nesneye ait tüm noktalara iletilmesi lazımdır. Bunun sonucunda toplanan veriler sayesinde ölçülecek objelerin konum tespiti ve yüzey analizi yapılabilir (Liu, 2008; Polat, 2020).

Lazer tarama sistemlerinde toplanan veriler sonucu ortaya çıkan bütüne nokta bulutu denir. Bu nokta bulutu literatürdeki bir koordinat sistemine göre değerlendirilebileceği gibi yerel bir koordinat sistemine göre de değerlendirilebilir (Sarı vd., 2020; Fidan & Fidan, 2021; Yakar & Doğan, 2017). Artık nokta bulutu içerisinde bulunan tüm noktalar (Y,X,Z) koordinatlarına göre nitelenirler. Nokta bulutlarının birleştirilmesi, giydirilmesi ve renklendirilmesinde YLT' lere montajlı kamera sistemleri ön plana çıkarlar. Çeşitli istasyonlarda ve açık alan kalmayacak şekilde bindirmeli yapılan taramalar sonucunda, tarayıcıyla genelde birlikte çalışan yazılımlar sayesinde işlenerek 3B modeller oluşturulurlar (Ulvi vd., 2019; Ulvi vd., 2020; Karataş vd., 2022).

YLT olarak sektörde epeyce bir marka ve model bulunmaktadır. Bunlarla ilgili örnekler şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. a) Leica Scanstation P50 YLT, b) Trimble TX8 3B YLT, c) FARO M 70 YLT d) Riegl VZ YLT [URL 5, 6, 7, 8]

Yersel lazer tarayıcıların geleneksel yöntemlere göre üstünlükleri, hızlı proje tamamlanabilir, maliyet düşürülebilir, ulaşılabilir alanlar ölçülebilir, eksiksiz ve çok amaçlı veri toplanabilir, aydınlatmadan bağımsız çalışabilmesi söylenebilir (Fidan vd., 2022; Korumaz vd., 2011; Yılmaz & Yakar, 2016b).

Günümüzde yersel lazer tarayıcılar, haritacılıkta, arkeolojide, Kültürel mirasın belgelenmesinde ve coğrafi bilgi sistemine aktarımında, ormancılık çalışmalarında,

inşaat sektöründe, kıyı tespitinde, güvenlik çalışmalarında, deformasyon ölçmelerinde, mimarlıkta, otomotiv sektöründe, çevresel çalışmalar vb. alanlarda geniş bir uygulama olanağı bulmaktadır (Fidan, 2021; Yakar, 2011; Oruç & Baş, 2021).

3. ÇALIŞMA ALANI

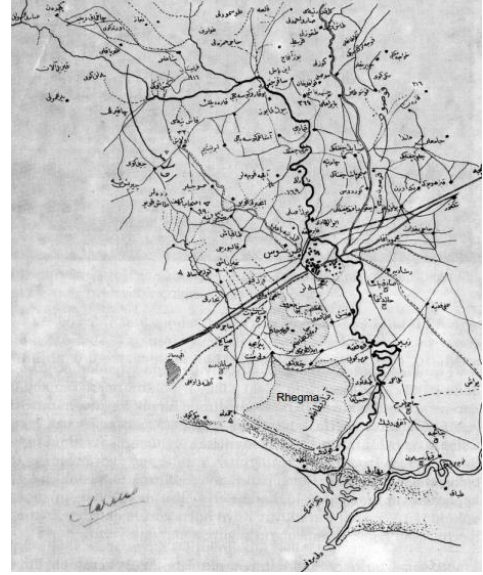
Çalışma olarak seçilen Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi, Mersin ili, Tarsus ilçesinde $36^{\circ}54'50.87''$ Kuzey ve $34^{\circ}53'51.88''$ Doğu koordinatlarında olup, rakımı 20 m olan bir konumdur. Tarsus ilçesinin Şehitkerim mahallesinde, Abdi İpekçi caddesi ile 3407,3111 ve 3410 sokaklarla çevrili adanın içerisinde bulunmaktadır. (Şekil 3)



Şekil 3. Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin Konumu

Tarihte Kilikya denilen bölge Lemas (Limonlu) ırmağının batısı Dağlık Kilikya (Taşlık Kilikya) ve doğusu Ovalık Kilikya olmak üzere iki bölüme ayrılmaktaydı. Tarsus kenti, tarihi konumu ve coğrafyası ile Kilikya'nın önemli stratejik kentlerinden biridir. Tarsus Kilikya'yı Orta Anadolu'ya bağlayan yolun geçiş noktasında bulunmaktadır. Kent tarihsel süreç içerisinde zamanın uygarlıkları tarafından önemli bir merkez olarak görülmüştür. Tarsus tarihte Hititler, Asuriler, Persler, Mısırlılar, Romalılar, Bizanslılar, Selçuklular, Memlûklüler, Ramazanoğulları ve Osmanlıların egemenliğinde kalmıştır (Atile, 2008).

Şekil 4'de eski Tarsus ve çevresinin bir haritası görülmektedir.



Şekil 4. Eski Tarsus ve Çevresi (Öz 1998).

Kuran'ı Kerim ve İncil'in öğretilerine göre Hz. İsa on iki havarisine Allah'ın izni ile yetkiler vermiş ve onları kendi halkı için görevlendirmişti. Havariler (elçiler) Hz. İsa yaşadığı dönemde belirlenmiş olup, bunlardan Mattiya, bir havarinin ölümü üzerine, Saul yani Pavlus Hz. İsa'nın Saul' a görünmesi iddiası ve havarilerin bu olayı dinlemelerinden sonra 13. havari olarak havarilere katılmıştır. Hz. İsa havarilerini döneminde kendi belirleyip sadece kendi halkına (Yahudilere) gönderirken, Pavlus' u diğer uluslara öğretiyi götürmesi için görevlendirmiştir (Atile, 2008). Şekil 5'de Vatikan'da Aziz Petrus Meydanı etrafında yer alan heykellerden Pavlus heykeli görülmektedir.



Şekil 5. Aziz Pavlus heykeli (Vatikan) [URL4]

Aziz Pavlus adına yapılmış Anadolu'da birçok kilise bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi Tarsus'ta bulunmaktadır. Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi, Aziz Pavlus adına yapılan kiliseler içerisinde, Aziz Pavlus' un Tarsuslu olması ve Hristiyan hac yolu üzerinde olması nedeniyle çok önemli bir yapıdır. MS 1102 yılında inşa edildiği söylenmekle birlikte MS 11 veya 12. Yüzyıllarda inşa edildiğini söylemek daha doğru olacaktır. Ramazanoğulları tarafından camiye çevrilen yapıt, bir süre cami olarak kullanılmıştır. Bölgenin Arap-Ortodoks Cemaati tarafından 1850 yılında yeniden inşa ettirilmiştir. Tarsus'ta Hristiyan nüfusun azalmasıyla uzun süre cemaatsiz kalan kilise, 1993 yılına kadar amacı dışında kullanılmıştır. 1994 yılında Kültür Bakanlığına tahsis edilen kilise, Tarsus St. Paul Anıt Müzesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Süreçte restorasyon ve çevre

düzenleme çalışmaları tamamlandıktan ve çevresinde yer alan yapılarında kamulaştırma kapsamına alınmasıyla 2001 yılında müze olarak ziyarete açılmıştır. Müze Unesco geçici kültür mirası listesindedir.1992-1993 yıllarında Papalık tarafından gerçekleştirilen “Aziz Paul Sempozyumu ve Ayini” müzede gerçekleştirilmiştir. Kilisede bulunan mermer süslemeler, ikon ve aziz tasvirleri açısından müze, dünya kiliseleri içinde önemli bir yer almaktadır (URL1,2). Şekil 6’da Aziz Pavlus Kilisesinin dış ve iç görüntüsü görülmektedir.



(a)



(b)

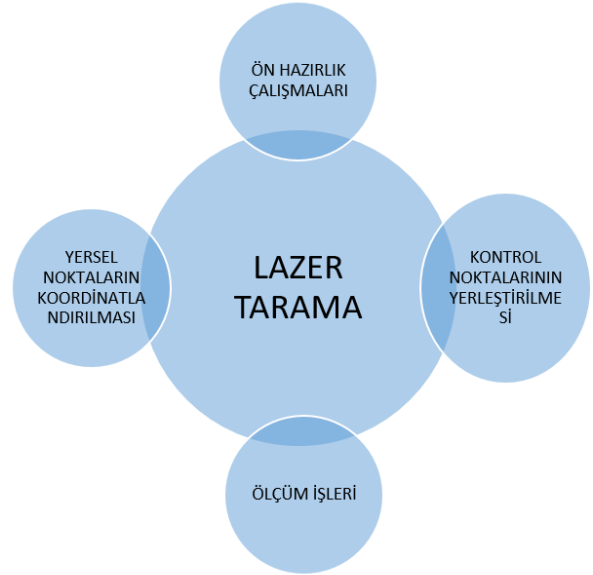
Şekil 6. Aziz Pavlus Kilisesinin Dıştan (a) ve İçten (b) Görünümü

4. UYGULAMA

Tarsus Aziz Pavlus Kilise’ sinin 3B modellemesi işlemi verilerin toplanması ve işlenmesi olmak üzere iki ana kısımda yürütülmüştür.

4.1. Veri toplama

Veri toplama bölümü ön hazırlık çalışmaları, kontrol noktalarının yerleştirilmesi, noktaların koordinat verilmesi için ölçüm işlemleri, yersel noktaların koordinatlandırılması sonucunda lazer tarama işleminin gerçekleştirilmesinden oluşmaktadır. Şekil 7’de veri toplama işlemleri bir akış diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 7. Veri toplama iş akışı

Ön hazırlık çalışmalarında bu çalışmada kullanılacak jeodezik ölçü aletleri, bina duvarlarında ve zeminde kullanılacak kontrol noktalarının temini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Topcon Hiper serisi SR GPS ve Topcon ES-65 serisi Elektronik takeometre kullanılmıştır. (Şekil 8)



Şekil 8. Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometre (a) ve Topcon Hiper serisi SR GPS (b) [URL5]

Çalışmada kullanılan Topcon Hiper serisi SR GPS, Kanal izleme teknolojisi ve gelişmiş anten teknolojisi ile kompakt, hafif, sağlam, yapılandırılabilir ve çok yönlü bir alettir. Bu alet 300 m ye kadar kesintisiz, MAGNET Relay GSM iletişim servisi ile sabit ve gezici olarak 35 km kadar RTK yapılabilmektedir. Topcon Hiper serisi SR GPS’in teknik özellikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Çalışmada kullanılan Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometre reflektörsüz olarak uzaklık ölçme teknolojisine sahiptir. Aletin 15 saatlik pil ömrü ve 10.000 nokta depolayabilen yerleşik yazılımı gibi özellikleri mevcuttur. Faz kaydırma teknolojisi ile hızlı ve doğru nokta tespiti, süper parlak lazer işaretçi ile geliştirilmiş kolimasyon, minimum mesafe ölçüm hatası için daha küçük elektronik uzaklık ölçer ışın nokta boyutu ile sığ geliş açılarında bile güvenilir ölçüm sağlamaktadır (URL 3). Tablo 2’ de Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometrenin teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 1. Topcon Hiper serisi SR GPS Teknik Özellikleri [URL5]

Öznitelik	Değer
Kanal Sayısı	GPS L1, L2, L2C
Konum Belir. Has.	H: 10 mm + 1.0 ppm V: 15 mm + 1.0 ppm
Hafıza	2 GB Dahili
Aktarım Hızı	10Hz ' e kadar
Boyut	150 x 150 x 64 mm
Ağırlık	850 gr
IP derecesi	IP67
Çalışma Sıcaklığı	-20°C - +65°C
Tarayıcı Kontrolü	Dokunmatik
Çalışma Süresi	20 Saate kadar
Anten Tipi	Fence Anten
Veri Aktarım	TPS, RTCM SC104 v
Formatı	2.x, 3.x; CMR/CMR+

Çalışmada kullanılan Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometre reflektörsüz olarak uzaklık ölçme teknolojisine sahiptir. Aletin 15 saatlik pil ömrü ve 10.000 nokta depolayabilen yerleşik yazılımı gibi özellikleri mevcuttur. Faz kaydırma teknolojisi ile hızlı ve doğru nokta tespiti, süper parlak lazer işaretçi ile geliştirilmiş kolimasyon, minimum mesafe ölçüm hatası için daha küçük elektronik uzaklık ölçer ışın nokta boyutu ile sığ geliş açılarında bile güvenilir ölçüm sağlamaktadır [URL 3]. Tablo 2' de Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometrenin teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2. Topcon ES-65 serisi Elektronik Takeometre Teknik Özellikleri [URL5]

Öznitelik	Değer
Mesafe Hassasiyeti	+/- (3mm+2pp x D) +/- (2mm+2ppm x D)
Mesafe Ölçme	Reflektörsüz 0.3-350m, Reflektörlü 1.3-4000m,
Açı Ölçme	1"/5"
Açı Ölçme Has.	5"
Boyut	191x174x348mm
Ağırlık	5,4 kg
Büyütme	30x
Çalışma Sıcaklığı	-200 ila +600C
Çözünürlük	2.5"
Objektif uzunluğu	171mm
Ölçüm süresi	0.9/0.7/0.3s
Pil çalışma süresi	15 saat
Görüş alanı	1°30'
Dahili bellek	10000 nokta

Bu çalışmada FARO marka FocusS 350 model YLT kullanılmıştır. FARO Focus Lazer Tarayıcılar özel olarak Mimari, Mühendislik, İnşaat, Kamu Güvenliği ve Adli Tıp veya Ürün Tasarımı gibi sektörlerde hem iç mekân hem de dış mekân ölçümler için tasarlanmıştır.

Tüm FocusS ve FocusM tarayıcılar IP koruma derecesi yüksek, geniş sıcaklık aralığı ile HDR fonksiyonu bulunan özelliklere sahiptirler. Lazer tarayıcı FocusS Serisinde artmış mesafe ve açısal duyarlılık mevcuttur. FocusS tarayıcılar dengeleme fonksiyonu ile donatılmışlardır. FocusS bir bilgisayara veya mobil cihaza tarama verisini kablosuz aktarılmasını sağlayabilmektedir. SCENE Yazılımı ile birlikte kullanılarak, 3B modeller üretimini gerçekleştirirler (URL 3).

Şekil 9'da FARO marka FocusS 350 model yersel lazer tarayıcı görülmektedir.

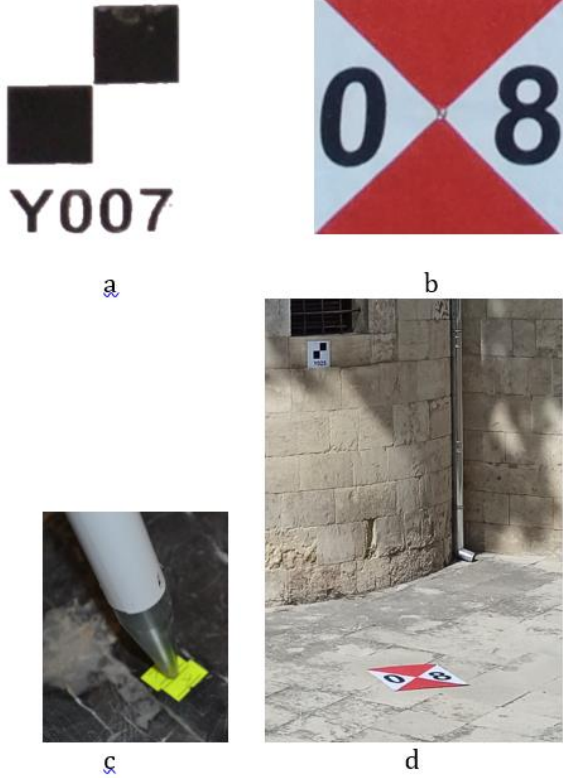
**Şekil 9.** FARO marka FocusS 350 model yersel lazer tarayıcı (URL3)

FocusS, artırılmış hassasiyet ve çift eksenli kompensatörlü mesafe ve açısal ölçümle ölçülen nesneye ait verileri nitelikli bir şekilde toplayabilir. Sonucunda yüksek kaliteli tarama verisi elde edilebilir. Yapılacak işin hassasiyetine göre tarama zaman aralıkları mevcuttur. Geniş ortam sıcaklık aralığı zorlu ortamlarda taramaya olanak sağlar. Cihazlar azami taşınabilirlik maksadıyla su geçirmez ve ergonomik bir taşıma muhafazasıyla donatılmıştır [URL 3]. Tablo 3'de kullanılan YLT teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 3. Kullanılan yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri [URL 3].

Öznitelik	Değer
Mesafe	0.6-350 m
Mesafe Ölçme Hatası	± 1 mm
Çözünürlük	165 mp
Görüş Alanı	300°, 360°
Boyut	230x183x103 mm
Ağırlık	4.2 kg
IP derecesi	IP54
Çalışma Sıcaklığı	-5°C - 40°C
Tarayıcı Kontrolü	Dokunmatik
Veri Depolama	SD, SDHC™, SDXC™
Ölçme Hızı	976000
HDR Kayıt	2x, 3x, 5x

Çalışmada kullanılmak üzere hazırlanmış kâğıt hedefler ile yer kontrol noktaları bina iç ve dış yüzeylerinde uygun yerlere çalışma alanında yerleştirilmiştir. Şekil 10'da kâğıt hedefler, iç ve dış yer kontrol noktaları ve yerleştirilme durumları görülmektedir.



Şekil 10. Kâğıt Hedefler (a), İç (c) ve Dış (b) Yer Kontrol Noktaları ve Yerleştirilme Durumları (d)

Kontrol noktalarının yerleştirilmesinden sonra koordinat, açı, yatay mesafe ve eğik mesafe ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemleri sonucunda iç ve dış yersel kontrol noktalarına koordinat verme işlemi tamamlanmıştır. Kontrol noktaları ölçme işlemlerine ait bir görüntü ve dış poligon güzergâhı örneği şekil 11'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11. Ölçme İşlemlerine Ait Bir Görüntü (a) ve Dış Poligon Güzergâhı Örneği (b)

Lazer tarama işlemi taramanın planlanması ve tarama işlemi olarak iki bölümdür. Lazer taramanın planlaması işleminin en önemli kısmı tarama istasyonlarının belirlenmesidir. Bu istasyonların yer seçiminde en önemli ilke yeteri sayıda tarama istasyonu oluşturulması ve istasyon arasında boş bölge kalmadan tarama işlemini gerçekleştirmektir (Ulvi vd., 2020). Çalışmada tarama istasyonları bina içinde ve dışında bindirmeli şekilde 32 nokta belirlenmiştir.

Ayrıca tarama işleminde jeodezik koordinat sistemi kullanıldığı için hedef işaretleri de bu koordinat sistemine göre belirlenmiştir. Tarama istasyonlarında FARO marka FocusS 350 model YLT ile 12 dk'lık taramalar gerçekleştirilmiştir. Yapının iç ve dış tarama anlamlarının görüntüleri şekil 12'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 12. Bina İç (a) ve Dış (b) Tarama İşleminin Görüntüleri.

4.2. Veri İşleme

Veri toplama çalışmalarının tamamlanmasından sonra veri işleme aşamasına geçilmiştir. Veri işleme aşaması verilerin yazılıma aktarılması, verilerin birleştirilmesi, gereksiz verilerin temizlenmesi, nokta bulutunun elde edilmesi ve sonucunda 3B modelin elde edilmesinden oluşmaktadır. Şekil 13'de veri işleme işlemleri bir akış diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 13. Verinin işlenmesi iş akışı

FARO marka FocusS 350 model YLT'de, kendi yazılımı olan SCENE yazılımı kullanılmaktadır.

Faro SCEEN yazılımı, veri görselleştirme, yönetme, gereksiz verinin ayıklanması ve kayıt sağlamak için FARO Focus Lazer Tarayıcılar, Focus Swift İç Mekan Mobil Tarayıcı ve Freestyle 2 Portatif Tarayıcı ile ve üçüncü taraf lazer tarayıcılarla yakalanan tarama verilerini işlemek için tasarlanmıştır SCENE yazılımı , ihtiyaç olan tüm verileri yakalar, böylece panoramik görünüm, 3B geçişler ve sanal gerçeklik turlarını dijital yaratabilir. Otomatik veri işleme, filtreleme ve kayıt işlevleri, bir bakışta gerçekliğin yüksek kaliteli dijital görüntülerine dönüştürülebilir. Kullanıcı yönlendirmeli iş akışları ve genişletilmiş dil desteği sağlamaktadır. Yazılım hızlı ve en üretken iş akışlarını sağlayarak, ölçmeyi geleneksel yöntemlerden üç kat daha verimli hale getirmektedir.

Yazılım tarama verilerini kullanılabilir CAD iş akışlarına dönüştürür. Sınırsız boyuttaki nokta bulutlarını tam ayrıntılı olarak görüntülerken, sürükleyici bir deneyim yaratarak tarama verilerini 2B, 3B ve sanal gerçeklik (VR) ortamlarında sunabilir. Hedef tabanlı ve hedefsiz (Cloud2Cloud) tarama kaydı için veri işleme özelliğini yönetebilir. Temizliği ve renk dengesini iyileştirmek için tarama verileri filtreleme için çeşitli araçlarla desteklemeleri mevcuttur. Yapay küreler, dama tahtası, kodlanmış işaretler veya doğal referanslar (köşe noktaları ve düzlemler, vb.) hedef işaretlerini rahatlıkla tanıyıp işleyebilir. Yüksek çözünürlüklü renkli fotoğraflardan veya Laser-HDR TM renk seçeneğinden renkli taramalar ortaya koyabilir [URL 3].

Çalışmada 32 istasyonda YLT ile taramalar gerçekleştirilmiştir. Taramalar sonucunda elde edilen veriler yazılıma aktarılmış ve ardından veri işleme (process) aşamasına geçilmiştir. Taramalar birleştirilip 605433430 adet nokta bulutu üretilmiştir. İşlemden nokta hatası 8 mm ile 20 mm aralığında olup çalışmanın maksimum nokta hatası ± 5.4 mm, ortalama nokta hatası ise 1.7mm olarak belirlenmiştir. Taramalarda bindirme oranları %10 ile %25 aralığında olup çalışmanın minimum bindirme oranı %13.3 dür. Nokta bulutu verisi üzerinden dağınık ve gereksiz (gürültü) veriler temizlenmiştir.

Tarama verilerinin işlenmesi aşamaları tamamlandıktan sonra yapının çeşitli görünüşlerinden üretilen iç dış bölgelere ait nokta bulutları Şekil 14'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 14. Bina Dış (a) ve iç (b) nokta bulutu

Yapının çeşitli görünüşlerden kesitleri elde edilmiştir. Şekil 15'de 3B modelin Kuzey-Güney doğrultusunda ve bina tavan iç kesitleri görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 15. Yapının Çeşitli kesitleri; Kuzey-Güney doğrultusunda (a), Tavan (b)

Bu çalışmanın sonucunda Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi'nin 3B modeli görseli elde edilmiştir. Şekil 16'da yapının 3B modeli görülmektedir.



Şekil 16. Yapının 3B Modeli Görseli

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yersel lazer tarama tekniği ile üretilen 3B modellerin sanal gerçeklik ortamlarında yetkinliği araştırılmıştır. Bunun için tarihi ve kültürel önemi çok büyük olan Tarsus Aziz Pavlus Kilisesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinde FARO marka FocusS 350 model YLT ile veri toplama çalışmaları yapılmış, veri setleri SCENE yazılımı ile işlenerek, yapının 3B modeli oluşturulmuştur.

Geleneksel ölçüm yöntemleri, tek nokta ölçümü ve tekrarlı ölçüm ile objelere ait bazı noktalara ait koordinatları üretebilirler. Dolayısıyla ölçülmek istenen nesneyi tam olarak ve kapsamlı olarak değerlendiremezler. 3B tarama ölçü yöntemi ise nesnenin karmaşık yapısını net olarak ortaya koyabilirler. Yani çok sayıda nokta verisi toplayarak, objenin modelini hızlıca ve düşük maliyetli olarak oluşturabilirler. Ve bu nesneyi bu sayede kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilir.

3B tarama teknolojisinin önemli bir uygulayıcısı olan yersel lazer tarayıcılar nesnelerin veya yapıların 3B modelinin oluşturulmasında önemli araçlardır.

Sanal gerçeklik için sürükleyici bir sanal bina ortamının olması ve doğru ortam bilgilerin aktarılmasının önemlidir. Bu nedenle sanal gerçeklik ortamlarının oluşturulabilmesi için 3B modellere özellikler gereksinimi bulunmaktadır. Bu model gereksinimi de geleneksel yöntemlere göre en nitelikli olarak karşılayabilen ölçü yöntemi yersel lazer tarayıcılar olacaktır.

Yersel lazer tarayıcıların, sanal gerçeklik için üreteceği 3B modellerdeki avantajlarının yanında bina seviyelerindeki olumsuz durumlar sonucunda modelde bozukluklarla karşılaşılabilir. Ayrıca özellikle bina modellemelerinde çatı yani üst bölümünün oluşturulamaması da önemli sorunlardan birini teşkil etmekte ve eksik modelle karşılaşmaktadır.

Ancak özellikle bina iç kısımlarının çoklu istasyonlarla, kapalı alanlar kalmamasına dikkat edilerek yapılacak modellemelerde nitelikli ve kapsayıcı 3B modeller üretilmektedir. Bu modeller de sanal gerçeklik de görselleştirme ve dolaşımda büyük performans sağlayacaktır.

Yersel lazer tarayıcılar ile üretilen 3B modellerin sanal gerçeklik ortamlarında kullanılabilirliğini sağlayabilmek için özellikle bina tarzı modellerin üst

kısımları için insansız hava araçları, iç ve eksik kalabilecek kısımlar içinde yersel fotogrametrisinin veya giyilebilir tarama teknolojilerinin kullanımı eksiksiz bir 3B model oluşturmayı sağlayacaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Şafak Fidan'ın tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-1-TP2-4294 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmadaki tüm katkılar yazarlar arasında eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Abellán, A., Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., Rosser, N. J., Lim, M. & Lato, M. J. (2014). Terrestrial Laser Scanning of Rock Slope Instabilities. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 80-97.
- Altuntas, C., Yıldız, F., Karabork, H., Yakar, M. & Karasaka, L. (2007, October). Surveying and documentation of detailed historical heritage by laser scanning. *In XXI International CIPA Symposium*, 1(6).
- Atile, M, F. (2008). Tarsuslu Aziz Pavlus, Pozitif ambalaj basım, Tarsus – Mersin.
- Baltsavias, E. P. (1999). A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 83-94.
- Banfi, F. (2020). HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. *Virtual Archaeology Review*, 11(23), 16-33.
- Büyüksalih, G., Kan, T., Özkan, G. E., Meriç, M., Isın, L. & Kersten, T. P. (2020). Preserving the knowledge of the past through virtual visits: from 3D laser scanning to virtual reality visualisation at the Istanbul Çatalca İnceğiz Caves. *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(2), 133-146.
- Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G. & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 15-22.
- Cheng, L., Chen, S., Liu, X., Xu, H., Wu, Y., Li, M. & Chen, Y. (2018). Registration of laser scanning point clouds: A review. *Sensors*, 18(5), 1641.
- Choromański, K., Łobodecki, J., Puchała, K. & Ostrowski, W. (2019). Development of Virtual Reality application for Cultural Heritage visualization from multi-source 3D data. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 261-267.

- Coates, G. (1992). Görünmez Siteden Program Bir Sanal Sho, George Coates Tarafından Sunulan Bir Multimedya Performans Çalışması Performansı İşler, San Francisco.
- Dinis, FM, Sanhudo, L., Martins, J. P. & Ramos, N. M. (2020). Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde proje iletişiminin iyileştirilmesi: Sanal gerçeklik ve lazer taramanın birleştirilmesi. *Yapı Mühendisliği Dergisi*, 30, 101287.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. DOI: 10.26833/ijeg.378257
- Fidan, D. & Fidan, Ş. (2021). Yersel Lazer Tarama Teknolojileriyle Oluşturulan 3B Modellerin Akıllı Kent Uygulamalarında Kullanımı: Mersin Süslü Çeşme Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3 (2), 48-57.
- Fidan, D. (2021). Arkeolojik Yüzey Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 10-23.
- 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)
- Güleç, K., A., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelemesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Kharroubi, A., Hajji, R., Billen, R. & Poux, F. (2019). Classification and integration of massive 3d points clouds in a virtual reality (VR) environment. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(W17).
- Lambers, K., Remondino, F. (2009). Optical 3D Measurement Techniques in Archaeology: Recent Developments and Applications, Cultural Heritage.
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49.
- Meng, X., Currit, N. & Zhao K (2010). Ground Filtering Algorithms for Airborne Lidar Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing*, 2(12), 833-860.
- Oruç, M. E. & Baş G. (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.
- Öz, H., 1998, Bilinmeyen Tarsus, Kültür Bakanlığı Yayınları: 2008, Başvuru Kitapları Dizisi: 75, *Türk Tarih Kurumu Basımevi*, Ankara.
- Polat, N. (2022). Availability of Iphone 13 Pro Laser Data in 3D Modeling. *Advanced LiDAR*, 2(1), 10-14.
- S. J. Alonso, J. I., Martínez, Rubio, J., Fernández, Martín, J. J. ve García Fernández, J. (2011, Mart). Uçuş süresi ve faz kaymasının karşılaştırılması. San Isidoro (León) Bazilikası'ndaki Kraliyet Pantheon'unun araştırması. *ISPRS Çalıştayında* "3D-ARCH".
- Sarı, B., Hamal, S. N. G. & Ulvi, A. (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Turkey Lidar Journal*, 2(2), 48-54.
- Staiger, R. (2003). Terrestrial Laser Scanning Technology, Systems and Applications, FIG Regional Conference. *Marrakech*, Morocco, December 2-5, 2003.
- Ulvi, A. (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- Ulvi, A., Yakar, M. (2014). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 1, 2014 (25-36)
- Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural heritage*, 8(4), 423-427.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S. & Mutluoğlu, O. (2015). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36. DOI: 10.18100/ijamec.41690
- 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.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. & Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal Of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 94-101.
- Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelemesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng.*, 19, 331-345.
- Yakar, M., Yılmaz, H., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H. & Çelik, H. (2010). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3 Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Yıldız, F., Karabork, H., Kavurmacı, M. M., Mutluoğlu, O. & Goktepe, A.

(2009). Monitoring of corrosion in fairy chimney by terrestrial laser scanning. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4(1), 86-91.

İnternet Kaynakları

[URL1]:

[https://tr.wikipedia.org/wiki/Aziz_Pavlus_Kilisesi_\(Tarsus\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Aziz_Pavlus_Kilisesi_(Tarsus)) (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL2]:

https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/mersin/gezilecek_yer/st-paul-anit-muzesi (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL3]:

<https://www.faro.com/en/Products/Software/SCENE-Software> (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL4]:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Aziz_Petrus_Meydan%C4%B1 (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL5]:

<https://www.paksoytekni.com.tr/> (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL6]:

<https://leicaturkiye.com/> (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL7]:

<https://www.graftek.com.tr/> (Erişim Tarihi: 08.09.2022)

[URL8]:

<http://www.riegl.com/> (Erişim Tarihi: 08.09.2022)



© Author(s) 2022.

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



Kagir Yapılardaki Taş Malzeme Bozulmalarının Lidar Tarama Yöntemi ile Belgelenmesi: Geleneksel Silvan Konağı Vaka Çalışması

Lale Karataş*¹, Aydın Alptekin*²

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mardin, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel Lazer Tarama,
Kültürel Miras,
Taş Malzeme,
Malzeme Sorunları,
Ortofoto.

ÖZ

Diyarbakır'ın Silvan İlçesi, geleneksel kent kültürünün soyut ve somut unsurlarını barındıran bir yerleşimdir. 1990 yılında Silvan surları koruma alanı oluşturulmasına rağmen, Silvan koruma amaçlı imar planı hala yapılmamıştır. Sur içinin sit alanı ilan edilmemesi ve tescil işlemlerinin çok geç başlaması; birçok evin yıkılmasına, niteliksiz eklerin yapılmasına hatta betonarme yapılaşmaya neden olmuş ve insan etkileri ile oluşan bilinçsiz müdahale geleneksel yapıların yıpranmasını hızlandırmıştır. Bu çalışmanın amacı yersel lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeyen elde edilen verilerle birleştirilerek geleneksel Silvan evlerinin özelliklerini yansıtan Silvan Konağı'na dair malzeme bozulmalarını tespit etmek ve belgelemektir. Yapının korunması geleneksel Silvan evleri kültürel mirasının devamlılığı noktasında önemlidir. Çalışmada gözlemsel tespit, fotoğrafla belgeleme ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda konutta hatalı onarım ve bakımsızlık kaynaklı bozulmaların en sık rastlanan sorunlar olduğu tespit edilmiştir. Özellikle cephelerde malzeme kayıplarını onarım amaçlı yapılan bilinçsizce işlemler olan çimento esaslı harç ile müdahale yapının görsel algısını bozduğu gibi taş malzemeye de zarar verdiği görülmektedir. Çalışma sonuçları, yersel lazer tarayıcının hiçbir temas söz konusu olmaksızın malzemelerin ve nem, tuz, yosun ve liken gibi biyolojik değişiklikler malzemeleri etkileyen farklı hasar türlerinin dokümantasyonu alanında büyük faydalar gösterdiği, bu yöntemle tespitinde yüksek doğruluk ve hız kazandığı olgularına destek vermektedir.

Documentation of Stone Material Deterioration in Masonry Buildings by Terrestrial Laser Scanning Method: A Case Study of Traditional Silvan Mansion

Keywords

Terrestrial laser scanner,
Cultural heritage,
Stone Material,
Material deterioration,
Orthophoto.

ABSTRACT

The Silvan District of Diyarbakır, which is the subject of the study, is a settlement that contains the intangible and tangible elements of traditional urban culture. Despite the creation of the Silvan walls protection area in 1990, the conservation plan for Silvan has not been prepared yet. The fact that the inside of the city wall is not declared a protected area and the registration procedures start too late; It has caused the demolition of many houses, the construction of unqualified additions and even reinforced concrete construction, and the unconscious intervention caused by human effects has accelerated the wear of traditional structures. The aim of this study is to identify and document the material deterioration of the Silvan Mansion, which reflects the characteristics of traditional Silvan houses, by combining the data obtained by various techniques from terrestrial laser scanning with the data obtained from on-site inspection. The preservation of the building is important for the continuity of the cultural heritage of traditional Silvan houses. Observational detection, photographic documentation and terrestrial laser scanning methods were used in the study. As a result of the study, it has been determined that the most common problems are the failures caused by faulty repairs and lack of maintenance. It is seen that the intervention with cement-based mortar, which is the unconscious process of repairing material losses, especially on the facades, disrupts the visual perception of the building and also damages the stone material. The results of the study support the fact that terrestrial laser scanner shows great benefits in the field of different damage expenditures where there are materials that do not contain any contact content and biological changes materials such as moisture, salt, algae and so on, and that high accuracy and speed have been gained in the detection of these experiences.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

*(lalekaratas@artuklu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-8582-4612

*(aydinalptekin@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-5605-0758

Karataş, L. & Alptekin A. (2022). Kagir Yapılardaki Taş Malzeme Bozulmalarının Lidar Tarama Yöntemi ile Belgelenmesi: Geleneksel Silvan Konağı Vaka Çalışması. Türkiye Lidar Dergisi, 4(2), 71-84

Geliş Tarihi/Received: 19/10/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 30/12/2022

1. GİRİŞ

Sağlamlığı ve dayanıklılığı nedeniyle eski çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan taş, yapı malzemesi olarak kullanıldığında birden farklı iklim ve atmosfer koşullarına maruz kalmakta ve çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalara uğramaktadır (Alptekin vd., 2019; Karataş vd., 2022; Karataş, 2022a; Karataş, 2016; Kanun vd., 2022; Shen vd., 2019; Yakar & Alptekin, 2021; Patil vd., 2021; Alptekin vd., 2022). Yapı taşlarının bozulma oranları ve bozulmalarına yol açan süreçler, iklim ve antropojenik faaliyetlerle ilgili diğer dış faktörlerin yanı sıra doku, mineraloji, gözeneklilik ve gözenek boyutu dağılımı gibi içsel özelliklere de bağlıdır. Özellikle, kentsel ortamlardaki yüksek hava ve yağış kaynaklı sülfat seviyeleri, yoğun taş bozulmalarına yol açmaktadır (Ambrosini vd., 2019; Corvo vd., 2010; Comite vd., 2017; Comite vd., 2020; Falchi vd., 2019; Gibeaux vd., 2018; Graue vd., 2013; Ivaskova vd., 2015; Rovella vd., 2020; Vidorni vd., 2019; Vidal vd., 2018; Webb vd., 1992; Alptekin & Yakar, 2021). Londra gibi kentsel şehirler için, sıcaklık ve yağış gibi dış faktörlerin yanı sıra kükürt ve azot oksitler gibi hava kirleticilerde taş yapıların bozulmasında en çok etki eden faktörler arasında yer almaktadır (Basu vd., 2020, Karataş, 2022b).

Biyolojik türlerin büyümesi, asitlerin salgılanması da taş çözünmesinin başka önemli bir nedenidir. Suyun taş üzerindeki etkisi ayrıca çeşitli maddelerin çözünmesine sebep olarak koruma açısından karmaşık bir durum yaratmakta ve su sirkülasyonu çeşitli maddelerin birikmesine sebep olabilmektedir. Nemi emen taş mineralleri, hacim artışından dolayı taş üzerinde baskı uyguladığından iç gerilimleri artırarak taşın çatlamasına, parçalanmasına veya kırılmasına neden olabilmektedir (Perry & Duffy, 1997). Ayrıca taşın içine giren sıvı; tuzlar, biyolojik ajanlar ve sudan eriyebilen çeşitli maddeler gibi ajanların taşınması ve değişim etkileri için önemli bir ortam haline gelebilmektedir (Alves vd., 2021). Ayrıca su, taş bileşenleri ile reaksiyona girebilir ve taş içerisinde birikecek olan maddelerin salınımını teşvik edebilmektedir (D'oubal, 2017; Iucolano, 2019; Aly vd., 2020; Dursun & Topal, 2019; Ergüler & Shakoor, 2009; Beck & Al-Mukhtar, 2014; Bustamante vd., 2020; Germinario vd., 2020; Winkler, 1997; Bonazza vd., 2017; Gulotta vd., 2018; De Azcona vd., 2002).

Ayrıca literatürde dünyada taş yapıları çevrede meydana gelen bozulmaların bir diğer önemli sebebinin insan kaynaklı hatalı onarımlardan kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Duffy vd., 1993; Arroyo vd., 2013; Altuntaş vd., 2007). Bu bağlamda bir yapının tam anlamıyla korunabilmesi için yapıyı oluşturan taşın mevcut durumu ve taşın zaman içinde maruz kaldığı çevresel değişiklikleri deşifre etmek gerekmekte ve malzemenin mevcut durumunu tespit etmek gerekmektedir.

Yapının mevcut durumunu tespit etme aşamasında; her kültürel yapının kendine has özellikleri, sorunları ve özgüllüğü ile başlı başına bir olgu oluşturduğu için, manuel haritalama gibi geleneksel yöntemler tarihi binalardaki malzeme bozulmalarının tespitinde zahmetli ve zaman alan yöntemler olmaktadır. Eski anıtları oluşturan yapı malzemeleri üzerindeki bozulmaları incelemek ve teşhis etmek için tematik haritaların üretim

sürecini iyileştirmek amacıyla son yapılan çalışmalarda, özellikle tahribatsız bir teknik olan yersel lazer tarama gibi farklı tekniklerin, çeşitli analiz yöntemleriyle birleştirilmesinin malzemelerin ve malzeme bozulmalarının teşhisinin tam olarak yapılabilmesi noktasında büyük yarar sağladığı vurgulanmaktadır. Lidar tarama yöntemi, malzemeleri ve malzeme bozulmalarını büyük bir doğrulukla tespit etme imkânı ve geleneksel tekniklerle elde edilmesi zor olan geometrik detayların analizini kolaylaştırmaktadır. Karmaşık bir geometriye sahip mimari ve tarihi alanların araştırılması için lazer tarayıcı gibi bir tekniğin kullanılması, bu nedenle, yüksek doğruluk ve gezinilebilir ve ölçülebilir 3B yüzey modeli ile grafik çıktılar elde etmek için yararlı bir araçtır (Yılmaz & Yakar, 2016a; Yılmaz & Yakar, 2016b; Oruç & Baş, 2021). Çeşitli çalışmalarda lazer tarayıcı anketinden otomatik olarak (veya sınırlı bir manuel işlemle) grafik çıktılar çıkararak, kültürel mirasın incelenmesi, restorasyonu ve malzeme hasar analizlerini desteklemeye yardımcı olduğu tespit edilmiştir (Giuseppina vd., 2012; Alptekin & Yakar, 2020b, Karataş, 2022c). Ayrıca çeşitli çalışmalarda yersel lazer tarayıcının hiçbir temas sözü konusu olmaksızın malzemelerin ve nem, tuz, yosun ve liken gibi biyolojik değişiklikler malzemeleri etkileyen farklı hasar türlerinin dokümantasyonu alanında büyük faydalar gösterdiği, bu yöntemle tespitinde yüksek doğruluk ve hız kazanıldığı tespit edilmiştir (Karataş vd., 2022a; 2022b; 2022c; Lerma & Herráez, 1999; Armesto-González vd., 2010; Giuseppina vd., 2012; Alptekin & Yakar, 2020a; Oruç & Öztürk, 2021).

Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda malzeme bozulmalarının dokümantasyonunda farklı tekniklerin ve farklı teknolojilerin bütünleşik bir yaklaşımından yararlanılması gerekliliğinin doğru sonuçlar için önemi vurgulanmaktadır. Bu nedenle restorasyon aşamasında yapıya uygun malzemenin seçiminde çeşitli tekniklerin kullanımının birleştirilmesi ve multidisipliner çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Multidisipliner sonuçların detaylandırılmasından elde edilen nitel ve nicel bilgiler, korumanın mevcut durumu hakkında bilgi vermiş, böylece gerekli restorasyon malzemelerinin ve müdahale çalışmalarının seçimine yönelik karar vermeye yardımcı olmaktadır (Tsilimantou vd., 2020; Fort-González vd., 2002; Herrera vd., 2009; Weritz vd., 2009; Genovese, 2005; Bitelli vd., 2016; Breccolotti vd., 2018; Palazzi vd., 2019; Galassi vd., 2020; Cundari, 2012; Docci & Maestri, 2012). Bu bağlamda bu çalışmanın amacı yersel lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeye elde edilen verilerle birleştirerek, geleneksel Silvan evlerinin özelliklerini yansıtan Silvan Konağı'na dair malzeme bozulmalarını tespit etmek ve belgelemektir.

Çalışmaya konu olan yapı, geleneksel kent kültürünün soyut ve somut unsurlarını hala barındıran Diyarbakır'ın Silvan İlçesi'nde bulunmaktadır. Silvan kalesi içerisinde konumlanarak, topografyaya uygun bir biçimde, yöresel malzemenin kullanımı ile oluşan ve geleneksel özelliklerini kaybetmeyen konut örneklerine halen rastlanmaktadır. Mimari dokusunu kısmen koruyabilen bir yerleşim yeri olan Silvan'da geleneksel evler geçmiş yaşamın düzeyi ve niteliğine tanıklık eden, kent kimliğinin önemli bir parçası olup ana yapı malzemesi olan kireçtaşı, bölgede asırlık bir geleneğe

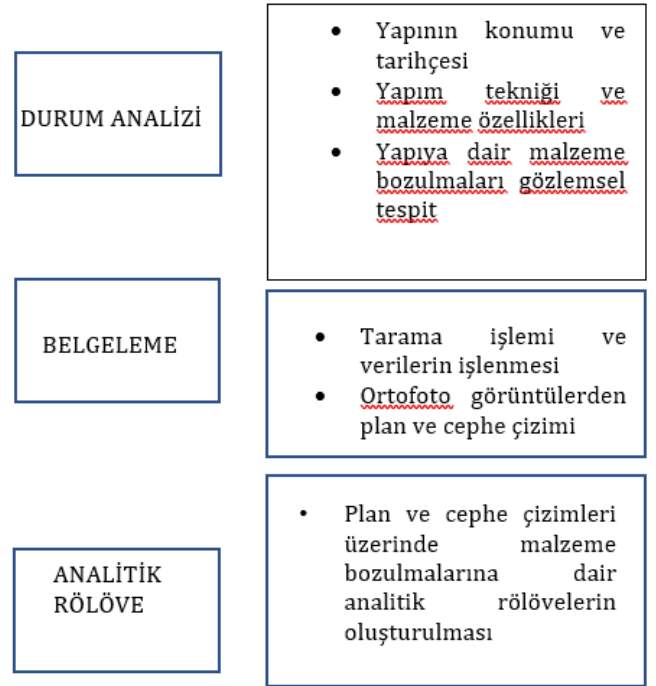
sahip olup, yerel sakinler tarafından kiliseler, kaleler ve diğer dini ve sivil binaları inşa etmek ve süslemek için kullanılmıştır. 1990 yılında Silvan surları koruma alanı oluşturulmasına rağmen, Silvan koruma amaçlı imar planı hala yapılmamıştır. Sur içinin sit alanı ilan edilmemesi ve tescil işlemlerinin çok geç başlaması; birçok evin yıkılmasına, niteliksiz eklerin yapılmasına hatta betonarme yapılaşmaya sebep olmuştur. İnsan etkileri ile oluşan bilinçsiz müdahale, vandalizm gibi nedenler geleneksel yapıların yıpranmasını hızlandırmıştır (Dağtekin vd., 2017). Yapının korunması geleneksel Silvan evleri kültürel mirasının devamlılığı noktasında önemlidir. Çalışmada gözlemsel tespit, fotoğrafla belgeleme ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda konutta hatalı onarım ve bakımsızlık kaynaklı bozulmaların en sık rastlanan sorunlar olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre yapıya bakımsızlıktan kaynaklı su etkisi devam etmekte ve bu durum taşın bozulma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durumun öncelikle önüne geçilmesi önem arz etmekte, taşa su ve sulu çözeltilerin nüfuz etmesini önlemek gerekmektedir. Ayrıca cephelerde malzeme kayıplarını onarım amaçlı yapılan bilinçsizce işlemler olan çimento esaslı harç ile müdahalelerin, yapının görsel algısını bozduğu gibi taş malzemeye de zarar verdiği görülmektedir. Bu kapsamda çalışma bulgularına dayanarak, yapının onarımı sırasında özellikle yerel çevresel faktörler veya mikro iklim koşulları dikkate alınarak ve kullanılacak onarım maddelerinin taş alt tabaka ile uyumluluğunu ve uygunluğunu ve hâkim iklimdeki dayanıklılıkları test edilerek kullanılacak harç onarım maddeleri seçilmesi gerektiği görülmektedir.

2. YÖNTEM

Çalışmada, yapının malzeme bozulmalarının analitik olarak belgelenmesi için literatür taraması, gözlemsel tespit, fotoğrafla belgeleme ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler betimsel ve sistematik analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, örnek olay incelemesinin yapılacağı tarihi yapı ile ilgili durum analizi yapılmış ve yapının genel bilgileri sunulmuştur. Daha sonraki aşamada yapının iç ve dış tüm ölçümleri lazer tarama ile almış ve iki gün süren ölçümler sonucunda alınan veriler büro ortamında 'Scene' adlı programda birleştirilmiştir. Dataların birleştirilmesinden sonra nokta bulutları oluşturularak yapının üç boyutlu kütlesi ortaya çıkarılmıştır. Gerçek ölçülere göre oluşan kütle üzerinden 'PointCab Origins 3.9' programı ile ortofoto alınarak çizimlere hazır hale getirilmiştir. Ortofotolar Autocad program yardımı ile malzeme bozulmaları analitik rölövelerine dönüştürülmüştür.

Yapılan makro ve mikro görsel gözlemler, yapının veya anıtın mevcut durum analizi ve lazer taramadan elde edilen ortofotolardan elde edilen cephe çizimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildikten sonra, çeşitli bulgulara ulaşılmıştır. Aşağıdaki şekil iş akışına yönelik durumu özetlemektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Malzeme bozulmalarını belgelemede yersel lazer tarama verilerinden ortofoto oluşturma ve entegrasyona yönelik önerilen süreci gösteren iş akışı

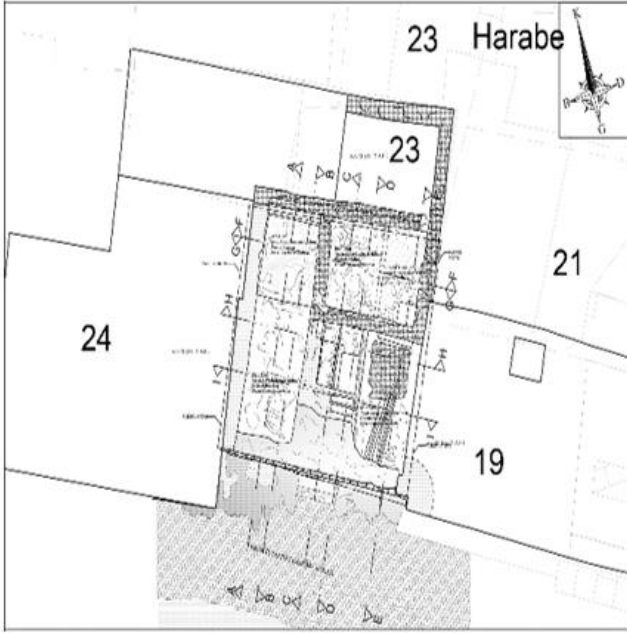
2.1. Durum Analizi

Yapıya dair koruma önerileri getirmeden önce yapının bulunduğu çevre ile ilişkini anlayabilmek için genel strüktürü, formu, malzemesi ve çevresiyle ilgili olarak yapıya ilişkin araştırmaların yapılması gereklidir (Karkaş & Özgünler, 2021). Bu bağlamda bu ilk aşamada; yapıyla ilgili tarihi belgeler, zaman içerisinde yaşadığı değişiklikler, mekânsal ve cephe özellikleri, malzeme ve yapım tekniği ve mevcut durumdaki malzeme bozulmalarına dair tüm bilgiler toplanmıştır. Bu bölümde bu aşamalar açıklanmaktadır.

2.1.1. Silvan Konağı konumu ve tarihçesi

Çalışmaya konu olan Silvan Konağı; Diyarbakır Silvan ilçesi sınırları içerisinde ve Mescit mahallesi 314 ada 20 parselde yer almaktadır. Yapı tarihi surların üzerine inşa edilmiştir. Görsel ve sözlü kaynaklardan elden bilgilere göre yapılış tarihi tam olarak belli olmamakla beraber 1850 ve sonrası civarıdır.

Yapı zemin ve birinci kat olmak üzere iki farklı plan kotundan oluşmaktadır. Yapıya güney cephesinde bulunan ana kapıdan girilir. Yapılan araştırmalar yapıya ait kitabe veya inşa tarihini belirten herhangi bir belge olmadığını göstermektedir. Yapıda taşıyıcı sistemin esasını kalın duvarlar teşkil etmekle beraber, kapı ve pencerelerde yuvarlak kemerler tercih edilmiştir. İnşa malzemesi, çoğunlukla kaba yönü taşlar, tuğla ve kalın sur taşlarıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Silvan Konağı Vaziyet Planı

2.1.2. Silvan Konağı malzeme ve yapım tekniği

Yapı iki katlı olup giriş cephesi sur duvarlarının üzerinde inşa edilmiştir. Geri kalan kısımlar, kaba yönü taşlardan yapılmıştır. Ön cephe hariç diğer üç cephe bitişik nizamdadır. Yığma yapım tekniğinde inşa edilen evlerin taşıyıcı duvarlarında yöresel kalker taş kullanılmıştır. Avlu zemini doğal taş veya topraktır. Zemin kattaki mekânların döşemesi taş veya sıkıştırılmış topraktır. Yaşam katında ise döşeme ahşap kirişleme üstü taş veya ahşap kaplamadır. Üst örtü ahşap kirişleme üzeri toprak damdır (Şekil 3-5).



Şekil 3. Silvan Konağı Malzeme ve Yapım Tekniği



Şekil 4. Güney Cephesi



Şekil 5. Doğu Cephesi

2.1.3. Gözlemsel Tespit

Taşların bozulma morfolojilerinin haritalanması için yapının çeşitli ölçekli çizimlerle (rölöveler) ve yakın çekim fotoğraf gibi diğer görsel imkânlarla belgelenmesi gerekmektedir. Böylece çizimler üzerinde taşın hasar tipleri işlenerek hasar lejantları oluşturularak belirlenen hasar tipleri görsel analizlere dayalı olarak oluşturulabilir (Karkaş & Özgünler, 2021; Altuntaş vd., 2007). Bu bağlamda çalışmada yapının koruma durumunu değerlendirmenin ilk adımında, hasar haritalamadan oluşan görsel bir inceleme yapılmıştır. Taş malzeme bozulmalarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmış bir çizelge üzerinde yer alan malzeme bozulması türleri Tablo 1.'de açıklanmaktadır.

Tablo 1. Yapıda oluşan malzeme bozulmaları

DOĞAL TAŞ YAPI ELEMANLARI			SORUNLAR																				
			Yüzey kaybı	Parça kopması	Boşluk/ delik oluşumu	Oyuklanma	Çatlak	Kavlanma	Yapraklanma	Derz boşalması	Yüzey kirliliği	Kabuk oluşum	Çiçeklenme	Şekerlenme	Bitki oluşumu	Yosun oluşumu	Korozyon (Pas lekesi)	Aşınma	Form kaybı	Renk değişimi	Hatalı Onarımlar		
DÜŞEY TAŞIYICILAR	TEK TAŞIYICILAR	Ayak Sütun																					
	SÜREKLİ TAŞIYICILAR	Duvar	X	-					X						X						X	X	
YATAY TAŞIYICILAR	DÖŞEMELER	Düz	X						X						X						X	X	
		Eğrisel	Tono z Kubbe																				
MERDİVENLER																							
DUVAR BOŞLUKLARI	Pencere	Lento/söve																					
		Eşik																					
	Kapı	Lento/söve																					
		Denizlik																					
Kemer																							
YARDIMCI ELEMANLAR	Şebeke																						
	Silme																						
	Çörtten																						
	Baca																						
	Örtüye Geçiş Elemanı																						

2.2. Tarama Prosedürü ve Veri İşleme

Arazide tarama işlemine geçmeden önce tarama işleminin planlanması gerekmektedir. Planlama aşamasında tarama yapılacak istasyonların konumları ve sayısı, belirlenmesi gerekmektedir (Riveiro ve ark., 2011; Doğan & Yakar, 2018; Korumaz vd., 2011; Karataş vd., 2022d; ; 2022e; 2022f; 2022g; 2022h Yakar, 2011).

Tarama yapılacak istasyonların konumları yapının tamamını ve tüm detayları kapsayacak şekilde yeterli sayıda belirlenmelidir. Bu çalışmada; Mardin Mungan Konağı binasının tarama işleminde binanın dış kısmı için 11 istasyon yeri belirlenmiştir. Çalışmada ilk tarama istasyonun alet merkezli koordinat sistemi proje koordinat sistemi olarak belirlenmiş ve diğer tüm istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verileri bu koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Verilerin temizleme işleminden sonra tüm yapıya ait 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulur. Bu aşamada Mardin Silvan Konağı'nın belgelenmesi amacıyla tarama işleminde yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır. Yapı yersel lazer tarama cihazı kullanılarak (Faro Focus Laser Scanner) dış cephe taraması yapılmış (Şekil 6) ve yapılan tarama işleminde elde edilen nokta bulutları elde edilmiştir.



Şekil 6. Laser Scanner (The Focus3D X 330)

2.3. Ortofoto Görüntülerin Elde Edilmesi

Bu aşamada PointCab Origins 3.9 adlı yazılımda lazer tarama işleminde elde edilen nokta bulutları 3 boyutlu görsellere dönüştürülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Yersel Lazer Tarama Elde edilen 360 derece panoramik görüntülerin PointCab Origins 3.9 adlı program kullanılarak üç boyutlu hale getirilmesi

Program üzerinde yapının 3 boyutlu kütlesi üzerinde çeşitli yerlerden kesitler alınarak binanın ortofoto görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 8-9).



Şekil 8. PointCab Origins 3.9 adlı programında yapının ölçekli ortofotoları(dik foto) elde edilmesi (Kat planları)



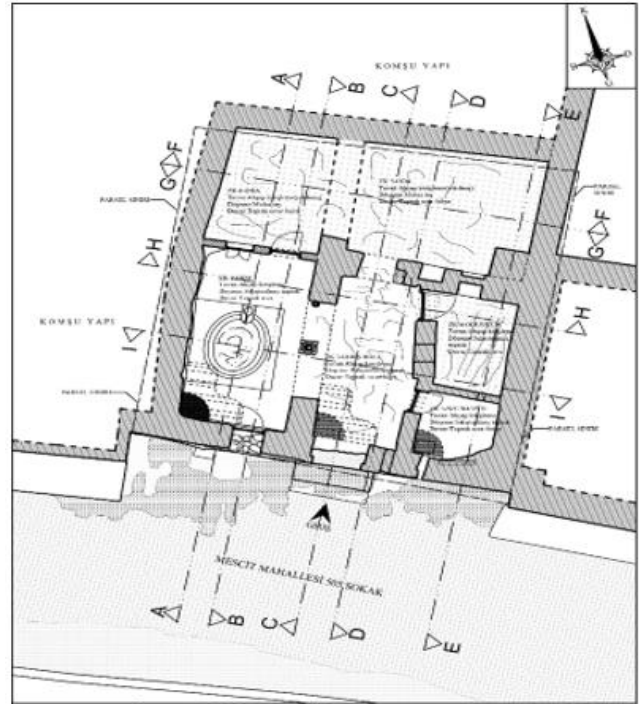
Şekil 9. PointCab Origins 4.0 adlı programında yapının ölçekli ortofotoları (dik foto) elde edilmesi (Güney Cephesi)

3. BULGULAR

Yapıya dair plan, cephe ve malzeme bozulmalarına dair çizimlerinin oluşturulması işleminde ise AutoCAD programı kullanılmıştır. Çizim işlemine geçmeden önce PointCab Origins 3.9 yazılımında üretilen ortofoto görüntüler AutoCAD ortamına aktarılmıştır. AutoCAD yazılımlarının ortak veri formatı olan .tif ya da .tiff uzantılı TIF dosyası formatında AutoCAD ortamına aktarılabilir. Elde edilen ölçekli ortofoto görüntüler kullanılarak, Autocad programı ile yapının plan, cephe ve malzeme bozulmalarına dair analitik rölöveler elde edilmiştir.

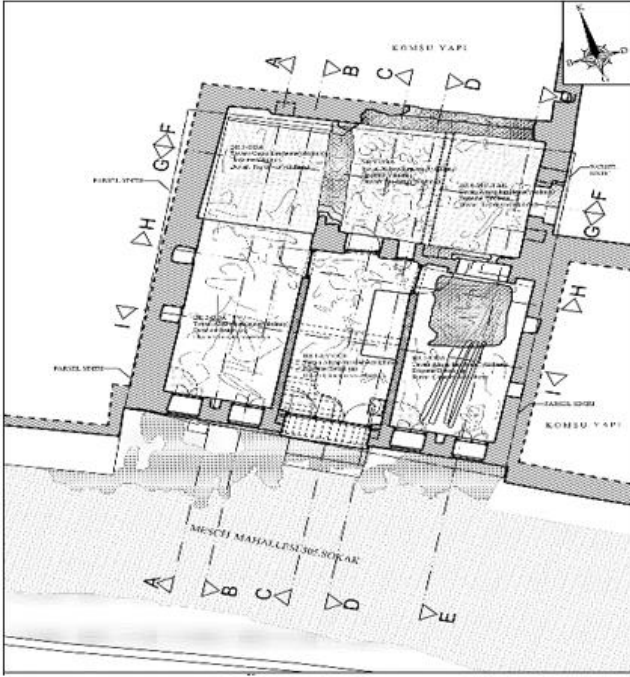
3.1. Mekânsal Özellikler

Yapı iki katlı bir yapıdır. Yapının zemin katında bir adet kapatılmış giriş kapısı, bir adet wc, 2 adet yıkılmış oda, bir adet giriş holü ve bir adet havuzlu oda olmak üzere toplam 6 mekân bulunmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Zemin Kat Planı Analitik Rölövesi

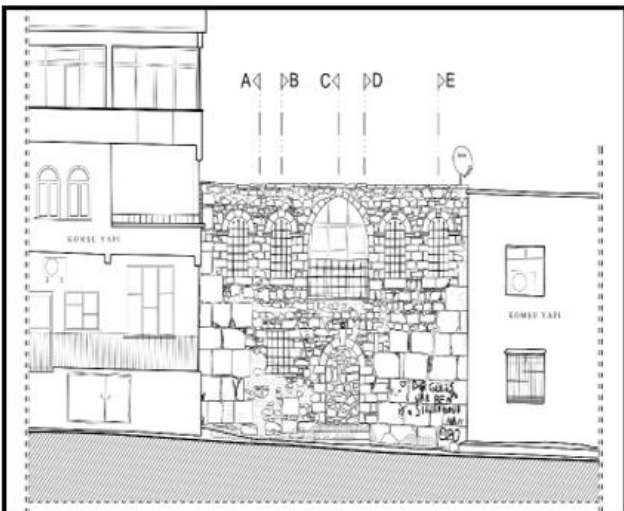
Yapının birinci katında ise, 3 tanesi tamamen yıkılmış 6 birim mevcuttur. Ayrıca 2 adet ayırıcı tuğla duvar da bulunmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Birinci Kat Planı Analitik Rölövesi

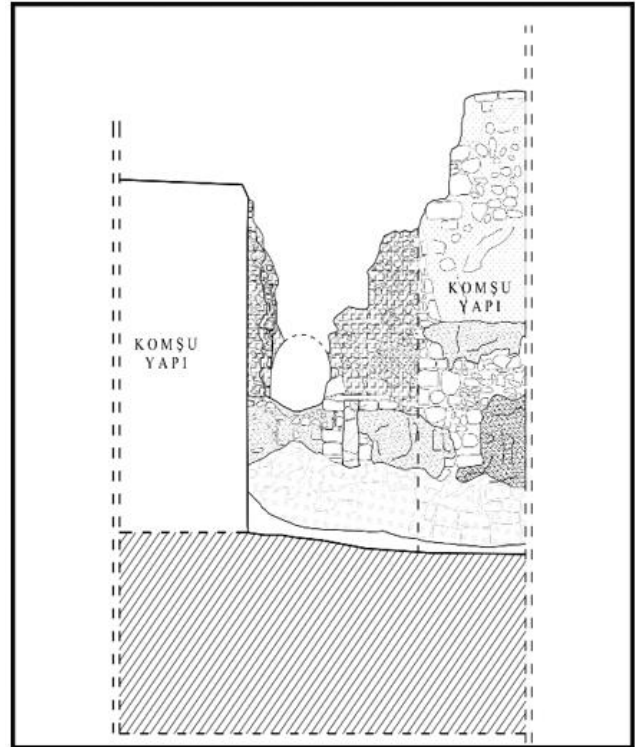
3.2. Cephe Özellikleri

Güney cephesi; cephenin sağ ve sol tarafında bitişik nizamda yapılar bulunmaktadır. Cephede ön giriş kapısı kapatılmıştır. Kapının önünde 2 adet basamak vardır. Kapının sol tarafında bir adet pencere bulunmaktadır. Pencerenin önünde demir şebekeler mevcuttur. Demir şebekeler korozyona uğramıştır. Giriş kapısının sağ tarafında biri WC'ye ait olmak üzere 2 adet küçük pencere boşluğu bulunmaktadır. Duvarın sağ tarafında boya ile müdahaleler yapılmıştır. Cephede yapının 2.katına ait olan bir eyvan kemeri bulunmaktadır. Kemer sivri kemer olup arkasında ahşap doğramalar önünde demir şebekeler vardır. Kemerin sağında ve solunda ikişer adet kemerli pencere bulunmaktadır pencerelerin önünde demir şebekeler bulunmaktadır. Yapının damında saçak taşları görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Güney Cephesi Analitik Rölövesi


















Doğu cephesi; cephenin sağ ve sol tarafında bitişik nizamda yapılar bulunmaktadır. Cephede yıkılmalar bulunmaktadır. Kemer şeklinde ocak izi mevcuttur. Bir adet kapatılmış pencere görülmektedir. Cephede sıva dökülmeleri meydana gelmiştir. Cephenin önünde moloz yığını vardır (Şekil 13).



Şekil 13. Doğu Cephesi Analitik Rölövesi

3.3. Malzeme Sorunları

Taşların bozulma morfolojilerinin haritalanması için önceki aşamalarda, yapının plan ve cepheleri çeşitli ölçekli çizimlerle (rölöveler) ve yakın çekim fotoğraf gibi diğer görsel imkânlarla belgelenmiştir. Böylece çizimler üzerinde taşın hasar tipleri işlenerek hasar lejantları oluşturularak belirlenen hasar tipleri görsel analizlere dayalı olarak oluşturulabilir. Bu bağlamda çalışmada yapının koruma durumunu değerlendirmenin ilk adımında, hasar haritalamadan oluşan görsel bir inceleme yapılmıştır. Taş malzeme bozulmalarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmış bir çizelge üzerinde yer alan malzeme bozulması türleri Çizelge 1.'de açıklanmaktadır. Önceki bölümlerde yapılan makro ve mikro görsel gözlemler, yapının veya anıtın mevcut durum analizi ve lazer taramadan elde edilen ortofotolardan elde edilen cephe çizimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildikten sonra, yapının malzeme sorunlarına ulaşılmıştır. Aşağıdaki kısımda yapının malzeme sorunlarının haritalanmasına dair lejant yer almaktadır (Şekil 14).

HASAR ANALİZİ			
	SIVA-BOYA DÖKÜLMESİ		BOYANMIŞ TAŞ YÜZEYLER AYKIRI BOYANMIŞ YÜZEYLER
	MALZEME KAYBI / DUVAR VE DAMDA YIKILMA		ÖZGÜN METAL KORKUKLULARDA KOROZYON VE YIPRANMA
	ÇİMENTO ESASLI HARÇ İLE MÜDAHALE		KILCAL ÇATLAK
	TAŞTA PARÇA-DOKU KAYBI		DERZ BOŞALMASI
	BOYA		DUVAR YÜZEYİNDE KİRLENME
	BETON ŞAP		KAPATILMIŞ PENCERE-KAPI
	MOLOZ YIĞINI		TOPRAK
	EKLENTİ DUVAR		MUHDES EK
	BİTKİ,YABANI OT		

Şekil 14. Malzeme bozulmalarının haritalanmasına dair lejant

Konutta hatalı onarım ve bakımsızlık kaynaklı bozulmalar en sık rastlanan sorunlardır. Bakımsızlık sonucu kaderine terk edilen konakta toprak damın kısmı yerlerde çökmüş olduğu görülmektedir. Evde bakımsızlıktan dolayı ağır hasarlar oluşmuştur. Ön cephe hariç diğer cepheler, bazı oda duvarları ve dam döşemeleri yıkılmıştır. Üst örtü kesintilerinin olduğu yerlerde yapı suya karşı korunmasız hale gelerek iç mekânlarda daha fazla tahribat oluşmasına neden olmuştur. Zemin katta iç mekânda bakımsızlıktan kaynaklı moloz yığını birikintileri görülmektedir. Birinci katta ise yine bakımsızlıktan kaynaklı moloz birikintileri ve taş duvar ve döşeme yüzeylerinde nem kaynaklı malzeme kayıpları görülmektedir (Şekil 15-16).



Şekil 15. Zemin Kat planı hasar tespiti



Şekil 16. Birinci Kat planı hasar tespiti

Yapının ön cephesi olan güney cephesinde suya maruz kalmaktan kaynaklı malzeme kaybı ve bitki oluşumu olduğu görülmektedir. Sonradan yapıya eklenen metal yağmur olukları bakımsızlıktan dolayı tıkanıp, işlevini yerine getiremediğinden yağmur suları çatıda birikmekte ve cephe yüzeyine akmaktadır. Ayrıca cephelerde malzeme kayıplarını onarım amaçlı yapılan bilinçsizce işlemler olan çimento esaslı harç ile müdahale yapının görsel algısını bozduğu gibi taş malzemeye de zarar vermektedir (Şekil 17-18).

tıkanıp, işlevini yerine getiremediğinden yağmur suları çatıda birikmekte ve cephe yüzeyine akmaktadır. Bu bulgu Perry & Duffy(1997); çalışmasında tespit ettiği; özellikle yağmur suyu ile yoğun direkt temasta olan yapılarda gözle görünen aşınmalar gözlemlendiği ve nemi emen taş mineralleri, hacim artışından dolayı taş üzerinde baskı uygulayarak bozulmaya neden olduğu olgusunu desteklemektedir. Yapıda su etkimesi sonucu malzeme kayıplarının en fazla oranda görülen sorun olması literatürde çeşitli çalışmalarda elde edilen taş su etkimesi sonucu taşın yüzeyinde kütle kayıplarının ve mukavemet azalmasının olduğu sonucunu desteklemektedir (Iucolano vd.,2019; Aly vd., 2020; Dursun & Topal,2019; Ergüler & Shakoor, 2009; Beck & Al-Mukhtar, 2014; Bustamante vd.,2020; Germinario vd.,2020; Bonazza vd.,2017; Gulotta vd., 2018)

Cephelerde suya maruz kalan bölgelerde yoğun bitki oluşumları görülmektedir. Bu bulgu Alves vd. (2021) çalışmasında belirttiği yapıları çevredeki malzemeler suyun değişen etkilerine maruz kalmakta ve taşın içine giren sıvı; tuzlar, biyolojik ajanlar ve sudan eriyebilen çeşitli maddeler gibi ajanların taşınması ve değişim etkileri için önemli bir ortam haline geldiği ve yapıyı bitki oluşumu başta olmak üzere çok çeşitli taş bozulma türlerine maruz bıraktığı olgusuna destek vermektedir. Ayrıca bu bulgu De Azcona vd. (2002), çalışmasında vurguladığı; su, taş bileşenleri ile reaksiyona girebilir ve taş içerisinde birikecek olan maddelerin salınımını teşvik edebildiği olgusunu desteklemektedir.

Ayrıca yapıda suya maruz kalan yerlerde belirgin bir malzeme kaybı görülürken, suya maruz kalmayan yerlerde görülmemesi Winkler (1997) çalışmasında taş yapılarda yağmura maruz kalan tarafın belirgin erozyon gösterdiğini, korunan tarafta ise malzemenin korunduğu bulgusunu doğrulamaktadır.

Ayrıca cephelerde malzeme kayıplarını onarım amaçlı yapılan bilinçsizce işlemler olan çimento esaslı harç ile müdahale yapının görsel algısını bozduğu gibi taş malzemeye de zarar verdiği görülmektedir. Elde edilen bu bulgu Duffy vd. (1993) çalışmasında belirttiği, yapının onarımı sırasında özellikle yerel çevresel faktörler veya mikro iklim koşulları dikkate alınmadan ve kullanılacak onarım maddelerinin taş alt tabaka ile uyumluluğunu ve uygunluğunu ve hakim iklimdeki dayanıklılıkları test edilmeden kullanılan maddeler malzemenin daha fazla hasar görmesine neden olabildiği ve özellikle onarım amaçlı kullanılan harçlar yüksek miktarlarda çözünür kalsiyum içerdiklerinden ve binalarda en zararlı tuz olan kalsiyum sülfat oluşumuna yol açabilmekte ve birçok harcın geçirgen kimyası ıslanma, emme ve buharlaşma yoluyla yüksek düzeyde su hareketine maruz bırakarak yapı taşlarına zarar veren maddeleri tutabildiği bulgusuna destek vermektedir. Ayrıca bu bulgu Arroyo ve ark. (2013) Napoli kentindeki taş yapılarla ilgili yaptıkları çalışmada elde ettiği, daha önce onarım amaçlı yapılan restorasyonlarda kullanılan malzeme ve harçların bileşiminin Napoli kentindeki taş yapılarda en büyük bozulma nedeni olduğu bulgusuna, Türkiye'nin Silvan ilçesinde yer alan geleneksel taş konutlar bağlamında da benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışma yersel lazer tarama araştırmalarına dayalı olarak taş cephelerin malzeme bozulmalarını analizi için, lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeyen elde edilen verilerle birleştirilerek taş cephelerin malzeme bozulmalarının belgelenmesine odaklanan bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma, tarihi yapılardaki özgün malzemelerin korunabilmesi için gerekli olan çalışma etaplarını lazer taramadan elde edilen verilerin ortofotolar haline dönüştürülerek malzeme bozulmalarını belgelemek için bir altlık oluşturulmasının yöntemlerini sistematik olarak örnekleme yönüyle önemlidir.

Tüm sonuçlar doğrultusunda yapılacak müdahaleler kapsamında su ve nem kaynaklı bozulmalar olan malzeme kaybı ve bitki oluşumu bozulmalarına karşın kimyasal uygulama yapılmadan önce kullanıcıların, mutlaka bu alanda uzmanlaşmış kişilerden teknik tavsiye alması gerekmektedir. Araştırma sonuçlarına göre yapıya bakımsızlıktan kaynaklı su etkisi devam etmekte ve bu durum taşın bozulma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu durumun öncelikle önüne geçilmesi ve taş su ve sulu çözeltilerin nüfuz etmesini önlemek gerekmektedir. Bu kapsamda ise su itici kimyasal uygulamalar taş koruma çalışmaları kapsamında uzmanlar tarafından gerekli görülürse tercih edilebilir.

Ayrıca cephelerde malzeme kayıplarını onarım amaçlı yapılan bilinçsizce işlemler olan çimento esaslı harç ile müdahale yapının görsel algısını bozduğu gibi taş malzemeye de zarar verdiği görülmektedir. Bu kapsamda yapının onarımı sırasında özellikle yerel çevresel faktörler veya mikro iklim koşulları dikkate alınarak ve kullanılacak onarım maddelerinin taş alt tabaka ile uyumluluğunu ve uygunluğunu ve hakim iklimdeki dayanıklılıkları test edilerek kullanılacak harç onarım maddeleri seçilmelidir.

Gelecek çalışmalarda yukarıda belirtilen verilerin bir CBS sistemi ile birleştirilmesi, incelenen yapının sürdürülebilirlik açısından yaşam döngüsünün izlenmesine yardımcı olabilecektir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Silvan Konağı çevre sakinlerine teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Lale Karataş; Metodoloji, Veri Toplama; Yazım. **Aydın Alptekin;** Kontrol.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020a). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 1-4.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020b). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 5-9.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40. DOI: 10.53093/mephoj.939079
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). 3D modelling of mausoleum by using ground laser scanner. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1 (1) ,1-4.
- Alptekin, A., Çelik, M.Ö., Doğan, Y. & Yakar, M. (2022). Illustrating of a Landslide Site with Photogrammetric and LIDAR Methods. In: El-Askary, H., Erguler, Z.A., Karakus, M., Chaminé, H.I. (eds) Research Developments in Geotechnics, Geo-Informatics and Remote Sensing. CAJG 2019. *Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham*.
- Altuntas, C., Yildiz, F., Karabork, H., Yakar, M., & Karasaka, L. (2007, October). Surveying and documentation of detailed historical heritage by laser scanning. *In XXI International CIPA Symposium*, 1(6).
- Alves, C., Figueiredo, C. A. M., Sanjurjo-Sánchez, J. & Hernández, A. C. (2021). Effects of water on natural stone in the built environment—A Review. *Geosciences*, 11, 459. doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences11110459>.
- Aly, N., Hamed, A., & El-Al, A. A. (2020). The impact of hydric swelling on the mechanical behavior of Egyptian helwan limestone. *Period. Polytech. Civ. Eng.*
- Ambrosini, D., De Rubeis, T., Nardi, I. & Paoletti, D. (2019). The Potential of optical profilometry in the study of cultural stone weathering. *Journal of Imaging*, 5(6), 60. doi:10.3390/jimaging5060060.
- Armesto-González, J., Riveiro-Rodríguez, B., González-Aguilera, D., Teresa Rivas-Brea, M. (2010). Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings, 37(12), 0–3047. doi:10.1016/j.jas.2010.06.031.
- Arroyo, F. & Villegas-Sánchez, R. (2013). The church of Saint Martin (Trujillo, Spain): Study of the stone degradation. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3), 109–112. doi:10.1016/j.culher.2012.10.024.
- Basu, S., Orr, S. A., Aktas, Y. D. (2020). A Geological Perspective on Climate Change and Building Stone Deterioration in London: Implications for Urban Stone-Built Heritage Research and Management. *Atmosphere*, 11, 788.
- Beck, K. & Almkhtar, M. (2014). Cyclic wetting–drying ageing test and patina formation on tuffeau limestone. *Environ Earth Sci*, 71, 2361–2372.
- Bitelli, G., Castellazzi, G., D'altri, A. M., De Miranda, S., Lambertini, A. & Selvaggi, I. (2016). Automated voxel model from point clouds for structural analysis of cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences- ISPRS Archives*, 41, 191-197.
- Bonazza, A., Vidorni, G., Natali, I., Ciantelli, C., Giosuè, C. & Tittarelli, F. (2017). Durability assessment to environmental impact of nano-structured consolidants on Carrara marble by field exposure tests. *Sci. Total. Environ*, 575, 23–32.
- Breccolotti, M., Severini, L., Cavalagli, N., Bonfigli, F. M., Gusella, V. (2018). Rapid evaluation of in-plane seismic capacity of masonry arch bridges through limit analysis. *Earthquake and Structures*, 15(5), 541-553.
- Bustamante, R., Vázquez, P., Rodríguez-Monteverde, P. & Monjo, J. (2020). Adapted ageing tests for the evaluation of alabaster used in the restoration of Bishop's Palace of Tarazona. *Mater. De Construcción*, 70(), 219.
- Comite, V., Álvarez de, B. M., Barca, D., Belfiore, C. M., Bonazza, A., La Russa, M. F., Pezzino, A., Randazzo, L. & Ruffolo, S. A. (2017). Damage monitoring on carbonate stones: Field exposure tests contributing to pollution impact evaluation in two Italian sites. *Construction and Building Materials*, 15, 907–922. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.07.048
- Comite, V., Ricca, M., Ruffolo, S. A., Graziano, S. F., Rovella, N., Rispoli, C., Gallo, C., Randazzo, L., Barca, D., Cappelletti, P. & La Russa, M. F. (2020). Multidisciplinary Approach for Evaluating the Geochemical Degradation of Building Stone Related to Pollution Sources in the Historical Center of Naples (Italy). *Applied Sciences*, 10(12), 4241. doi:10.3390/app10124241
- Corvo, F., Reyes, J., Valdes, C., Villaseñor, F., Cuesta, O., Aguilar, D. & Quintana, P. (2010). Influence of air pollution and humidity on limestone materials degradation in historical buildings located in cities under tropical coastal climates. *Water, air, and soil pollution*, 205(1), 359-375.
- Cundari, C. (2012). *Il Rilievo Architettonico. Ragioni Fondamenti. Applicazioni*. Roma: Kappa.
- D'oubal, J. (2017). The restoration of the Stone Fountain in Kutná Hora: An assessment of the contemporary intervention within the context of repairs throughout history. *Stud. Conserv*, 62, 371–383.
- Dağtekin, E., Payaslı O. G. & Yıldırım, M. (2017). Geleneksel Silvan evlerinin mimari analizi architectural analysis of traditional silvan houses. 5. 96/118.
- De Azcona, M. C. L., Gonzalez, R. F. & Martín, F. M. (2002). La conservación de los materiales pétreos en la Fuente de Cibeles, Madrid (España). *Mater. De Construcción*, 52, 65–75.
- Docci, M. & Maestri, D. (2012). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Bari: Laterza.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. DOI: 10.26833/ijeg.378257
- Duffv, A. P., Cooner, T. P. & Perrv, S. H. (1993) Reoointina. L / mortars for conservation of a historic stone building in Trinity College Dublin. *Mat. Struct.* 26(), 302-306.

- Dursun, F. & Topal, T. (2019). Durability assessment of the basalts used in the Diyarbakır City Walls, Turkey. *Environ. Earth Sci*, 78, 1–24.
- Erguler Z. & Shakoor, A. (2009). Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks. *Eng. Geol.*, 108, 36–42.
- Falchi, L., Orio, E., Balliana, E., Izzo, F. C. & Zendri, E. (2019). Investigation on the relationship between the environment and istria stone surfaces in Venice. *Atmospheric Environment*, 210, 76–85. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.04.044
- Fort-González, R., López, H. C. & Mingarro, F. (2002). Assessment of protective treatments based on their chromatic evolution: limestone and granite in the Royal Palace of Madrid, Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities. *Balkema*, Lisse, 347e442.
- Galassi, S., Ruggieri, N. & Tempesta, G. (2020). A Novel, Numerical Tool for Seismic Vulnerability Analysis of Ruins in Archaeological Sites. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(1), 1-22.
- Genovese, R. A. (2005). Architectural, archaeological and environmental restoration planning methodology: historic researches and techniques of survey aiming to conservation. In: *Proceedings of CIPA XX International Symposium*, Torino, Italy.
- Germinario, L., Oguchi, C. T., Tamura, Y., Ahn, S., Ogawa, M. & Taya, C. (2020). A Buddhist marvel hidden in underground Japan: Stone properties, deterioration, and environmental setting. *Herit. Sci*, 8, 1–20.
- Gibeaux, S., Vázquez, P., De Kock, T., Cnudde, V. & Thomachot-Schneider, C. (2018). Weathering assessment under X-ray tomography of building stones exposed to acid atmospheres at current pollution rate. *Construction and Building Materials*, 168, 187–198. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.120.
- Giuseppina, V., Deidda, M., Dessi, A. & Marras, M. (2012). Laser Scanner Survey To Cultural Heritage Conservation And Restoration. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 589-594. 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-589-2012.
- Graue, B., Siegesmund, S., Oyhantcabal, P., Naumann, R., Licha, T. & Simon, K. (2013). The effect of air pollution on stone decay: the decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments—a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals. *Environmental Earth Sciences*, 69(4), 1095–1124. doi:10.1007/s12665-012-2161-6.
- Gulotta D, Villa F, Cappitelli F & Toniolo L (2018). Biofilm colonization of metamorphic lithotypes of a renaissance cathedral exposed to urban atmosphere. *Sci. Total. Environ*, 639, 1480–1490.
- Güleç, Korumaz, A., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelemesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Herrera, L. K., Borgne, S. & Videla, H. (2009). Modern methods for materials characterization and surface analysis to study the effects of biodeterioration and weathering on buildings of cultural heritage. *International Journal of Architectural Heritage*, 3, 74e91.
- Iucolano, F., Colella, A., Liguori, B. & Calcaterra, D. (2019). Suitability of silica nanoparticles for tuff consolidation. *Constr. Build. Mater.* 202(), 73–81.
- Ivaskova, M., Kotes, P. & Brodnan, M. (2015). Air Pollution as an Important Factor in Construction Materials Deterioration in Slovak Republic. *Procedia Engineering*, 108, 131–138. doi: 10.1016/j.proeng.2015.06.128
- Karatas, L. (2022a). Integration of 2D mapping, photogrammetry and virtual reality in documentation of material deterioration of stone buildings: Case of Mardin Şeyh Çabuk Mosque. *Advanced Engineering Science*, 2, 135-146
- Karatas, L. (2022b). Investigating the historical building materials with spectroscopic and geophysical methods: A case study of Mardin Castle. *Turkish Journal of Engineering*, 7(3), 266-278
- Karataş, L. (2016). Mardin Kentsel Sit Alanındaki İbadet Yapılarında Malzeme Kullanımı ve Sorunları Üzerine Bir Araştırma. Master's Thesis, Uludağ University, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 340p (in Turkish).
- Karataş, L. (2022c). Investigating the historical building materials with spectroscopic and geophysical methods: A case study of Mardin Castle. *Turkish Journal of Engineering*, 7 (3), 266-278. DOI: 10.31127/tuje.1145711.
- Karataş, L., Alptekin, A. & Yakar, M. (2022a). Analytical Documentation of Stone Material Deteriorations on Facades with Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Şanlıurfa Kışla Mosque. *Advanced LiDAR*, 2(2), 36–47.
- Karataş, L., Alptekin, A. & Yakar, M. (2022b). 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. (2022c). 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.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022d). 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. (2022e). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry structures using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Aba Mausoleum. *Advanced UAV*, 2(2), 51–64.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022f). Detection of materials and material deterioration in historical buildings by spectroscopic and petrographic methods: *The example of Mardin Tamir Evi. Engineering Applications*, 1(2), 170-187
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022g). Investigation of Molla Hari (Halil) Süleyman Paşa Mosque's material deteriorations. *4th Advanced Engineering Days*, 55-57.

- Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E. & Yakar, M. (2022e). Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması. *İçel Dergisi*, 2 (2), 41-49
- Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A. & Yakar, M. (2022h). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry buildings using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4 (2), 53-61. DOI: 10.53093/mephoj.1198605
- Karkaş, Z. S. & Acun, Ö. S. (2021). Tarihi Yapılarda Kagir Yapı Malzemelerinin Koruma Uygulamalarında Kullanılabilecek Bir Yöntem Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (3), 564-577.
- Lerma, J. L. & Herráez, J. (1999). Reconocimiento y Cartografiado Automático de Monumentos Arquitectónicos. In: *Proceedings of the XI International Congreso of Graphical Engineering*, Logroño-Pamplona, Spain, 732e740.
- Oruç, M. E. & Baş G. (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.
- Palazzi, N. C., Rovero, L., De La Llera, J. C. & Sandoval, C. (2019). Preliminary Assessment on Seismic Vulnerability of Masonry Churches in Central Chile. *International Journal of Architectural Heritage*. DOI: 10.1080/15583058.2019.1570388.
- Patil, S. M., Kasthurba, A. K., & Patil, M. V. (2021). Characterization and assessment of stone deterioration on Heritage Buildings. *Case Studies in Construction Materials*, 15.
- Perry, S. H. & Duffy, A. P. (1997). The Short-Term Effects Of Mortar Joints On Salt Movement In Stone. *Atmospheric Environment*, 31 (9), 1297-1305.
- Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., De Arteaga, I. (2011) Terrestrial Laser Scanning and Limit Analysis of Masonry Arch Bridges, *Construction and Building Materials*, 25 (4): 1726-1735.
- Rovella, N., Aly, N., Comite, V., Randazzo, L., Fermo, P., Barca, D., Alvarez de, B., Monica L. R. & Mauro, F. (2020). The environmental impact of air pollution on the built heritage of historic Cairo (Egypt). *Science of The Total Environment*, 142905-.doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142905.
- Shen, Y., Wang, J., Wei, S., Zheng, D. & Ferreira, V. G. (2019). Accurate extraction of brick shapes in masonry walls from dense terrestrial laser scanning point cloud. *Measurement*, S0263224119305305. doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.086
- Tsilimantou, E., Delegou, E. T., Nikitakos, I. A., Ioannidis, C. & Moropoulou, A. (2020). GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings. *Appl. Sci*, 10, 1078-. https://doi.org/10.3390/app10031078
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S. & Mutluoglu, O. (2015). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36. DOI: 10.18100/ijamec.41690
- Vidal, F., Vicente, R. & Mendes, S. J. (2018). Review of environmental and air pollution impacts on built heritage: 10 questions on corrosion and soiling effects for urban intervention. *Journal of Cultural Heritage*, S1296207418303480-. doi:10.1016/j.culher.2018.11.006.
- Vidorni, G., Sardella, A., De Nuntiis, P., Volpi, F., Dinoi, A., Contini, D., Comite, V., Vaccaro, C., Fermo, P. & Bonazza, A. (2019). Air pollution impact on carbonate building stones in Italian urban sites. *The European Physical Journal Plus*, 134(9), 439-. doi:10.1140/epjp/i2019-12943-0
- Webb, A. H., Bawden, R. J., Busby, A. K. & Hopkins, J. (1992). Studies on the effects of air pollution on limestone degradation in Great Britain. *Atmospheric Environment, Urban Atmosphere*, 26, 165-181.
- Weritz, F., Kruschwitz, S., Maierhofer, C. & Wendrich, A. (2009). Assessment of moisture and salt contents in brick masonry with microwave transmission, spectral induced polarization and laser-induced breakdown spectroscopy. *International Journal of Architectural Heritage*, 3, 126e144.
- Winkler, E. M. (1997). Stone in Architecture. Properties, Durability; 3rd Completely rev. and extended Edition. *Springer*: New York, NY, USA, p. 313.
- Yakar, M. & Alptekin, A. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*. doi: 10.53093/mephoj.939079.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 94-101.
- Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010a). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng.*, 19, 331-345.
- Yakar, M., Yılmaz, H., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H. & Çelik, H. (2010b). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3 Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 101.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016b). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A. & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. 8(4), 428-433. doi:10.1016/j.culher.2007.07.004

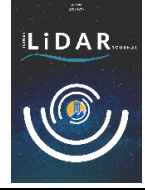
Yilmaz, H. M., Yakar, M., Yildiz, F., Karabork, H., Kavurmaci, M. M., Mutluoglu, O. & Goktepe, A. (2009). Monitoring of corrosion in fairy chimney by

terrestrial laser scanning. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4(1), 86-91.



© Author(s) 2022.

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



Yersel Lazer Tarayıcıların Arkeolojik Alanlardaki Kullanımının İncelenmesi

Müjdat Güngör*¹ 

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Gülşehir Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Finans- Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Nevşehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel Lazer tarayıcılar, Belgeleme, Arkeolojik alanlar, Kültürel Miras,

ÖZ

Kültürel miras varlıklarının belgelenmesini gerçekleştirmek için arkeolojik kazı alanlarında son yıllarda lazer tarayıcılar, insansız hava araçları (İHA) ve uydudan elde edilen fotoğraflar gibi farklı sistemler kullanılmaktadır. Araştırma yapılan bölgeye göre modelleme çalışmalarında tercih edilen yöntemlerden biri olan lazer tarayıcı sisteminin önemli avantajları bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada 2019-2022 yılları arasında literatürde yer alan arkeolojik alanlarda lazer tarayıcı kullanılarak yapılan modelleme çalışmaları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kültürel miras varlıklarının ortaya çıkarıldığı bölge, kullanılan lazer tarayıcının modeli, çalışma yapan araştırmacılar ve elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmanın son yıllardaki, arkeolojik alanlarda lazer tarayıcı sistemlerinin kullanılmasındaki artışa dikkat çekmek amaçlanmıştır. Ayrıca arkeolojik kazı alanlarında lazer tarayıcı kullanımını içeren çalışmalarının değerlendirilmesi ile literatüre bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Investigation of the Use of Terrestrial Laser Scanners in Archeologic Sites

Keywords

Terrestrial laser scanners, Documentation, Archaeological sites, Cultural heritage,

ABSTRACT

In order to document cultural heritage assets, different systems such as laser scanners, unmanned aerial vehicles (UAV) and satellite photographs have been used in archaeological excavation sites in recent years. The laser scanning system, which is one of the preferred methods in modeling studies according to the research area, has important advantages. In this study, modeling studies using laser scanners in archaeological sites in the literature between the years 2019-2022 were examined. As a result of the study, the region where the cultural heritage assets were unearthed, the model of the laser scanner used, the researchers who carried out the study and the results obtained were emphasized. In this context, it is aimed to draw attention to the increase in the use of laser scanning systems in archaeological sites in recent years. In addition, it is thought that it will contribute to the literature with the evaluation of the studies involving the use of laser scanners in archaeological excavations.

1. GİRİŞ

Arkeoloji, eski medeniyetlerden kalma, kültür ve uygarlıklar kapsamında tarihi kalıntıları araştıran ve geçmiş medeniyetlere ait objeleri değerlendiren bir bilim dalıdır. Günümüzde koruma altında olan kültürel miras varlıklarının ortaya çıkarılmasında arkeolojik saha çalışmaları oldukça önemli yer tutmaktadır. Doğa ve beşerî etkilerden kaynaklanan zararların oluşabileceği kültürel miras varlıklarının korunması kapsamında Avrupa'da bulunan birçok ülke planlı hareket etmektedir (Cleere, 2000; Alptekin & Yakar, 2020a; 2020b). Türkiye bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle tarihi birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Farklı medeniyetlere ait kültür kalıntılarının bulunması, kültürel miraslarının belgelenmesi ve korunma altına alınmasını gerekli kılmaktadır (Alptekin & Yakar, 2021; Balcı 2022). Bu doğrultuda arkeolojik sahaların koruma altına alınması, geçmiş medeniyetlerden kalma tarihi değerlerin tanıtılması ve sergilenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla arkeolojik çalışmaları yürüten saha ekibinin itinalı çalışması, kazı alanında bulunan objelerin dokümantasyonu ve kazı alanının modellenmesi için yapılan çalışmalarda hassasiyet gerekmektedir (Demirkesen vd., 2005; Yılmaz & Yakar, 2016a; 2016b; Alptekin vd., 2022). Çünkü arkeolojik kalıntıların bulunduğu sahaların korunması, kültürel miras varlığının bulunduğu sahanın modellenmesi açısından önemlidir (Altuntas vd., 2007; Doğan & Yakar, 2018; Hacı, 2013). Çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan belgeleme işlemleri neticesinde tarihi geçmişe sahip kültür varlıklarına açılan bir pencere sunulmuş olmaktadır. Ayrıca kültürel miras varlıklarının elde edilen verileri dijital ortama aktarılması sayesinde üç boyutlu sanal gösterimi multimedya araçları yardımıyla kullanıcılara aktarılmış olmaktadır. Bu durum gelecek nesillere geçmiş medeniyetlerin aktarılması konusunda kalıcı bir veri tabanı oluşturmaktadır. Geçmiş yıllarda arkeolojik sahalarda yapılan çalışmalar zahmetli, zaman alan ve bütçe gerektiren araştırmaları oluşturmakta (Sevin, 1995; Korumaz vd., 2011; Karataş vd., 2022) iken günümüzde teknolojik gelişmeler ve yenilikler sayesinde oldukça ilerlemiştir. Bu bağlamda sahanın dokümantasyonu açısından çeşitli görüntüleme teknikleri tercih edilmektedir. Fotoğraf makinesi arkeolojik sahadan çıkartılan tarihi objelerin görüntülenmesi başta olmak üzere pratik kullanımı açısından tercih sebebi olabilmektedir. Yakın geçmişte fotoğraf makinesi yardımıyla yapılan görüntüleme işlemleri her ne kadar fotoğraf makinelerinin gelişmesine bağlı olarak hızlı kullanım açısından güncelliğini korusa da fotoğraflama sırasında görüntüleme meydana gelen veri kayıpları ile arkeolojik sahanın hassasiyet gerektirmesi sebebiyle ikinci planda kalmaktadır. Bunun yanında tüm arkeolojik alanın görüntülenme ihtiyacı fotoğraf makinesinin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Bu durum uzaktan algılama teknolojilerinin tercih edilmesine veya birden çok görüntüleme kaynağının kullanılması ihtiyacı doğurmaktadır. Artık arkeolojik alanlarda görüntüleme çalışmaları kapsamında yersel lazer tarayıcılar, İHA ve uydulardan elde edilen fotoğraflar kullanılmaktadır. Elde edilen kültür varlıklarının görüntülerinin modellenmesi için ise fotogrametrik metotlardan yararlanılmaktadır.

Işık çizim ile ölçüm anlamına gelen fotogrametri ölçüm değerlerini görüntüler kullanarak yapmaktadır (Yakar, 2011; Ulvi vd., 2015; Şasi & Yakar, 2018). Fotogrametri tekniği, uzak mesafe fotogrametresi ve yakın mesafe fotogrametresi şeklinde ikiye ayrılır. Fotogrametri tekniği ile temas olmadan bir alan veya bir nesnenin görüntülenmesi gerçekleşir. Bu nedenle fotogrametrik metotların, arkeolojik kazı alanlarındaki tarihi kalıntıların üç boyutlu modelleme uygulamalarında, uzun süreç içermemesi ve klasik yöntemlere göre oldukça maliyetsiz oluşu ile tercih edilmesi dikkat çekmektedir (Yakar & Doğan, 2017; Kaya vd. 2021). Sonuç olarak fotogrametrik yöntemlerle elde edilen görüntüler dijital ortama aktarılarak çeşitli yazılımlar yardımıyla modelleme gerçekleştirilmektedir (Yakar vd., 2005; Yakar vd., 2010a; 2010b; Fidan, 2021). Böylece fotogrametri ile elde edilen görüntüler teknolojik yazılım fonksiyonlarının kullanılmasıyla nesnelere üç boyutlu model üretimi gerçekleştirilmektedir (Yakar vd., 2016). Bu durum kültürel miras varlıklarının dokümantasyonunda ortaya çıkarılan tarihi objelerin sunulması açısından önem arz etmektedir (Yılmaz vd., 2009; Turan, 2004).

2. YÖNTEM

Light Detection And Ranging açılımı olan LİDAR şeklinde kullanılan lazer tarama teknolojisi, lazer ışını kullanarak yüksek doğrulukta üç boyutlu (3B) veri üreten aktif bir uzaktan algılama teknolojisidir (Erişir 2015). LİDAR teknolojisinin sağladığı yüksek doğruluk ve hız, üç boyutlu olarak elde edilebilmesi, ulaşılması güç olan sahalarda ve geniş alanlar için tercih sebebi olmaktan ve birçok uygulamada yükseklik verilerinin önemli olması yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (Yılmaz ve Uysal, 2015; Polat ve Uysal 2016). LİDAR teknolojisinin sağladığı hız, düşük bütçe, verilerin yoğunluğu ve doğruluğu yapılan uygulamalarda önemli kazanımlar sağlamaktadır (Yılmaz ve Yakar 2006). LİDAR tarayıcı yöntemleri,

1- TLS (Terrestrial LİDAR System) Yersel Lidar Sistemleri

2- ALS (Airborne LİDAR System) Hava Lidar Sistemleri

Şeklinde ikiye ayrılmıştır (Polat ve Uysal 2016). Genel olarak arkeolojik kazı sahalarında modelleme yapmak için TLS (Terrestrial LİDAR System) yersel LİDAR sistemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Literatürde yer alan arkeolojik alanlarda yapılan çalışmalarda genelde fotoğraf makinesi, İHA ve lazer tarayıcı ve uydudan elde edilen görüntüler kullanılmaktadır. Genel olarak görüntüleme sistemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar bulunmakla beraber ölçümlerin doğruluk değerlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmada 2019-2022 yılları arasında arkeolojik alanlarda lazer tarama sistemlerinin kullanıldığı literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir. Böylece araştırmacılara arkeolojik sahanın yer aldığı bölge, yapılan çalışma, kullanılan lazer tarayıcı sistemi ve araştırma sonuçların ortaya konulduğu bir bakış açısı sunulması amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan inceleme ile arkeolojik sahalarda kültürel miras varlıklarının dokümantasyonunda konu ile ilgili olan araştırmacılara bir perspektif kazandırılması öngörülmektedir.

2.1. Literatür Taraması

Lazer tarayıcı sistemleri kullanılması ile elde edilen görüntülerin fotogrametrik metotlar uygulanarak ve çeşitli yazılım işlemlerinden sonra görüntüler sayısal ortamda fonksiyonel hale getirilmektedir. Böylece görüntülerden elde edilen ortofoto, nokta bulutu gibi ürünlerin arkeolojik sahanın üç boyutlu modellenmesine olanak vermektedir. Aşağıda 2019-2022 yılları arasında yer alan literatürde bulunan çalışmalar incelenmiştir.

Yunanistan'ın Sparta şehrinde bulunan Amyklaion antik bölgesinde 2015 ve 2017 yıllarında kazı ekibinin elde ettiği lazer tarama verileri, GPS koordinatları, İha ve dijital fotoğraflar kullanılarak elde edilen veriler Cyclone ve Geomagic Wrap yazılımları ile modellenmiştir. (Boyoğlu 2019). Aksaray ili merkezinde bulunan Ulu Cami'nin 'Geoslam' taşınabilir lazer tarayıcı kullanılarak iç ve dış cephe taraması gerçekleştirilmiştir. Yapılan tarama işlemi sonucunda $\pm 0,1$ hassasiyet ile saniyede 43000 tarama noktası kullanılarak üç boyutlu modellemesi "CloudCompare" yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Yaman & Kurt 2019; Oruç & Öztürk, 2021). Mersin ili Erdemli ilçesi Hüsametli-Tapureli-Küstülü köyü sınırlarında bulunan Üçayak ören yerinde geç Roma dönemi olarak nitelendirilen çiftlik yapısının üç boyutlu nokta bulutu elde edilmiştir (Alptekin vd. 2019). UNESCO'nun dünya mirası listesinde yer alan Illinois, ABD'deki Cahokia Mounds'ta kamuya açık hava uçağı Işık tespiti, Menzil (LiDAR) verilerinden ve İHA kullanılarak elde edilen görüntülerden üretilen sayısal yükseklik modelleri değerlendirilmiştir (Vilbig vd. 2020). Şanlıurfa'da bulunan Kızılkoyun Nekropolünde yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılan 75 tane mezarın lazer tarayıcı ve insansız hava aracı kullanılarak arkeolojik sahanın yüzey modeli üretilmiştir (Şenol vd. 2020). Ürdün'de bulunan Helenistik döneme ait QasrAl-Abidit sarayının üç boyutlu belgelenmesinde fotogrametri ve lazer tarama birlikte kullanılarak hibrit bir çalışma yapılmıştır (Alshawabkeh 2020). Konya il sınırları içerisinde bulunan Yunuslar mahallesindeki arkeolojik saha araştırmasında yaklaşık olarak 1400 yıllık olduğu tahmin edilen taban mozağının belgelenmesi yapılmıştır.

Yapılan araştırmada lazer tarayıcı, İHA ve sayısal el kamerası gibi görüntüleme sistemlerinden yararlanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre yapılan değerlendirmede lazer tarayıcının yaptığı ölçümde 3,65 cm konum hatası bulunmuştur (Kaya vd. 2021). Mersin ili içerisinde bulunan Soli Pompeiopolis antik kentinde yapılan çalışmalarda Aratos'un mezarından taş bloklar çıkartılmıştır. Lazer tarayıcı ile taranan bloklar Faro scene isimli lazer tarayıcının kendi yazılımı ile buluttan buluta $\pm 0,7$ mm hassasiyetle oluşturulmuştur (Kaçarlar & Hamal 2021; Oruç & Baş, 2021). Aksaray ili Ağzıkarahan köyünde bulunan Selçuklu döneminden kalmış olan tarihi Ağzıkara Han Kervansarayı'nın karasal lazer tarayıcı kullanılarak nokta bulut verisi elde edilmiştir (Kanun vd. 2021). Şanlıurfa ili Bozova ilçesinde bulunan Yaylak beldesinde tarihi Yaylak Ulu Cami'nin yersel tarayıcı sistemi kullanılarak üç boyutlu modellemesi elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutları ve ortofoto görüntüleri Scene yazılımında değerlendirilmiştir (Çalışır 2021). Lazer tarama verileri kullanılarak farklı yapıların özelliklerinin modellemesinin değerlendirildiği çalışmada Başpınar Sarnıcı'nın lazer taramayla elde edilen nokta bulutu verileri kullanılarak Faro Scene yazılımı ile üç boyutlu modellemeye sarnıcın alanı 230.209 m², çevresi 63,67 m, sarnıcın depolama su kapasitesi 163.074 m³ ve 3DReashaber ile kubbe hacmi 1.993 m² olarak bulunmuştur. Muğla'nın Milas ilçesinde yer alan Iasos Bouleuterionu antik şehri çeşitli belgeleme metotları kullanılarak incelenmiştir. Değerlendirmede çeşitli kriterler göz önüne alındığında fotogrametri yönteminin öne çıktığı saptanmıştır (Pehlivan vd. 2022).

3. BULGULAR

Tablo 1 ve Tablo 2'de görüldüğü üzere lazer tarayıcıların kullanıldığı arkeolojik saha çalışmaları kapsamında kullanılan lazer tarayıcı modeli, incelemenin yapıldığı arkeolojik alan, yapılan çalışmanın araştırmacıları ve elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır.

Tablo 1. 2019-2020 yılları arasında arkeolojik sahalarda lazer tarayıcı kullanılan bazı çalışmalar

Yıl	Lazer Tarayıcı Modeli	Araştırmacı	Elde Edilen Sonuç
2019	Leica Scanstation 2	Cem Sönmez Boyoğlu	Yunanistan'ın Sparta şehrinde bulunan Amyklaion antik bölgesinde lazer tarayıcı kullanılarak 2015 yılında 13 tarama ve 2017 yılında 25 tarama yapılarak yaklaşık 100 milyon nokta elde edilmiştir.
2019	"Geoslam" El Tipi/3B Lazer Tarayıcı	Aydan Yaman Muhammed Kurt	"Geoslam" 3B lazer tarayıcı kullanılarak Aksaray İlinde bulunan Ulu Cami'nin iç ve dış cepheleri taranarak üç boyutlu modeli üretilmiştir.
2019	Faro Focus 350	Aydın Alptekin Şafak Fidan Atilla Karabacak Mehmet Özgür Çelik Murat Yakar	Mersin ilinde Erdemli ilçesinde yer alan Geç Roma dönemi olarak bilinen çiftlik kompleksinin lazer tarama verileri kullanılarak nokta bulutu üretilmiştir. Çalışmada Scene 2019 yazılımı kullanılmıştır.
2020	Stonex X 300	Halil İbrahim Şenol Abdulkadir Memduhoğlu Mustafa Ulukavak	Kızılkoyun Nekropolinde lazer tarayıcı ve İHA kullanmak suretiyle elde edilen görüntülerden Pix4D yazılımı ile yüzey modeli üretilmiştir.
2020	Leica ALS50II	Justin M. Vilbig Vasit Sagan Christopher Bodine	Yatay ve dikey doğruluğu en az 1m olan 12 tane sınıflandırma verisi Arc GIS 10.7.1 yazılımında işlenmiştir.
2020	Lecia C10	Yahya Alshawabkeh Mohammad El-Khalili Eyad Almasri Fadi Bala'awi	QasrAl-Abidit sarayının modellenmesi için taramalarla elde edilen görüntüler ile nokta bulutları oluşturulmuştur.

Tablo 2. 2021-2022 yılları arasında arkeolojik sahalarda lazer tarayıcı kullanılan bazı çalışmalar

Yıl	Lazer Tarayıcı Modeli	Araştırmacı	Elde Edilen Sonuç
2021	Faro Focus3D X 330	Yunus Kaya Abdurahman Yasin Yiğit Ali Ulvi Murat Yakar	Konya ili Yunuslar mahallesindeki arkeolojik kazı çalışmasında bulunan 1400 yıllık mozağın dokümantasyonu gerçekleştirilmiştir. Lazer tarama verileri kullanılarak konum hatası 3,65 cm olarak bulunmuştur.
2021	FaroFocus3DX 330	Engin Kanun Azim Metin Murat Yakar	Aksaray ilinde bulunan Ağzıkara Han Kervansarayı' nın modellemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında birleştirme hatası 5,9 mm olarak bulunmuştur.
2021	Faro Focus 350	Zekeriya Kaçarlar Seda Nur Gamze Hamal	Mersin ilinde bulunan Soli Pompeopolis antik kentinde taş bloklar yersel tarayıcı kullanılarak taranmış ve modellenmiştir.
2021	FaroFocus3DX 330	Lütfiye Karasaka Adin Adnan Rashid Beg	Kisittra' nın kuzeybatısında bulunan Başpınar Sarnıcının tarama verileri kullanılarak 2 boyutlu çizimleri elde edilmiştir.
2021	Faro Focus3D	Kadir Çalışır	Urfa il sınırları içerisinde yer alan Yaylak Ulu Cami'nin üç ayrı noktadan tarama verisi alınarak üç boyutlu modellemesi yapılmıştır.
2022	Leica P20	Gamze Fahriye Pehlivan Asuman Baldıran Erdener Pelivan	Araştırmacılar rölöve tekniği, fotogrametri ve lazer tarama ile belgeleme yaparak sonuçlar değerlendirmiştir. Birçok ölçüt açısından yapılan incelemeye göre fotogrametri tekniği öne çıkmıştır.
2022	Faro FocusS 350	Hazal Us Sena Köse Muhammed Emin Bıyık	Kültürel miras değerindeki mezar taşının belgelenmesi için 8 adet istasyon noktası kurularak tarama işlemi yapılmıştır.

4. SONUÇLAR

Yapılan incelemede, kültürel miras varlıklarının dokümantasyonunda kullanılan lazer tarayıcı sistemlerinin yer aldığı arkeolojik sahalardaki araştırmalara yer verilmiştir. 2019-2022 yıllarında yapılmış lazer tarayıcı sistemlerinin kullanıldığı modelleme çalışmalarına yer verilmiştir. Yapılan incelemede, klasik yöntemlere göre detaylandırma ve doğruluk sağlamada öne çıktığı saptanmıştır. Dolayısıyla arkeolojik alanlarda bulunan objelerin üç boyutlu modellendirilmesi için lazer tarayıcı sistemlerinin kullanılmasını zaman ve maddi anlamada büyük tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca arkeolojik kalıntıların dokümantasyonu yapılacak restorasyon çalışmalarında elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Genel olarak kültürel miras varlıklarının envanterinin sayısal ortama aktarılması ve gelişen teknolojinin getirdiği yazılımlar yardımıyla üç boyutlu görüntülenmesi ve sunulması sağlanmaktadır. Böylece geçmiş medeniyetlere ait olan kültür varlıklarının dokümantasyonu kapsamında korunması ve sergilenmesinin yanında gelecek nesillere aktarımı dijital anlamda bir altlık sağlanmış olmaktadır. Bu çalışma ile arkeolojik alanlarda kültürel miras varlıklarının lazer tarayıcı kullanılarak görüntülenmesindeki artışa dikkat çekilmiştir. Ayrıca uzaktan algılama teknolojisinin sunduğu lazer tarayıcı sistemlerinin gelişimi sebebiyle arkeolojik saha planlarının yapılmasında ve dokümantasyonunda oldukça kolaylık ve ilerleme sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yapılan araştırmada bana olan güven ve desteklerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Murat YAKAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ' ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020a). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 1-4.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020b). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1) , 5-9.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40. DOI: 10.53093/mephoj.939079
- Alptekin, A., Çelik, M.Ö., Doğan, Y. & Yakar, M. (2022). Illustrating of a Landslide Site with Photogrammetric and LIDAR Methods. In: El-Askary, H., Erguler, Z.A., Karakus, M., Chaminé, H.I. (eds) Research Developments in Geotechnics, Geo-Informatics and Remote Sensing. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham.
- Alptekin, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2019). Üçayak Örenyeri'nin Yersel Lazer Tarayıcı Kullanılarak Modellenmesi. *Turkey Lidar Journal*, 1(1), 16-20.
- Alshawabkeh, Y., El-Khalili, M., Almasri, E., Bala'awi, F. & Al-Massarweh, A. (2020). Heritage Documentation Using Laser Scanner and Photogrammetry. The Case Study of Qasr Al-Abidit, Jordan. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 16, e00133.
- Altuntas, C., Yildiz, F., Karabork, H., Yakar, M., & Karasaka, L. (2007). Surveying and documentation of

- detailed historical heritage by laser scanning. In *XXI International CIPA Symposium*, 1(6).
- Balcı, D. (2022). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 27-36.
- Boyoğlu, C. S. (2019). Yunanistan Amykles Arkeolojik Alanının Lazer Tarama ile Dokümantasyonu ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Oluşturulması.
- Cleere, H. (2020). Introduction: the Rationale of archaeological heritage management. In *Archaeological Heritage Management in the Modern World*, 1-19. Routledge.
- Çalışır, K. (2021). Tarihi Yapıların 3 Boyutlu Belgelenme Sürecinde Nokta Bulutu Yönteminin Rolü: Yaylak Ulu Camii Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 212-219.
- Demirkesen, A. C., Özlüdemir, M. T. & Demir, H. M. (2005). Kapadokya örneğinde tarihi ve kültürel mirasın korunması ve bu işlemlerde harita mühendislerinin yetki ve sorumlulukları. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 10, 1-10, Ankara.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. DOI: 10.26833/ijeg.378257
- Erişir, Z. (2015). Nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi ile LİDAR verilerinin sınıflandırılması. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılamalı ve CBS Programı, İstanbul, 124 s.
- Fidan, D. (2021). Arkeolojik Yüzey Araştırması Tahmin Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması: Mersin İli, Silifke İlçesi Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 10-23.
- Hacar, A. (2013). Arkeolojik Alanların Korunmasında Planlamanın Önemi: Güvercin Kayası Alan Yönetim Planı ve İlk Uygulamalar. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 395-417.
- Kaçarlar, Z. & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70.
- 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.
- Karasaka, L. & Beg, A. A. R. (2021). Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Farklı Geometrik Yapıdaki Özelliklerin Modellenmesi. *Geomatik*, 6(1), 54-60.
- Karataş, L., Alptekin, A. & Yakar, M. (2022). 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.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165:57-72.
- Korumaz, G., Dülgerler, A. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Oruç, M. E. & Baş G. (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.
- Pehlivan, G. F., Baldıran, A. & Pehlivan, E. (2022). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Farklı Tekniklerin Karşılaştırılması: İasos Bouleuterionu Örneği. *GRID-Architecture Planning and Design Journal*, 5(1), 53-71.
- Polat, N. & Uysal, M. (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 679-692.
- Sevin, V. (1999). Arkeolojik Kazı Sistemi El Kitabı. İstanbul, Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric Modelling of HasbeyDar'ülhuffaz (Masjid) Using an Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering And Geosciences*, 3 (1), 6-11.
- Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2020). Multi Instrumental Documentation and 3D Modelling of an Archaeological Site: A Case Study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.
- Turan, M. H. (2004). Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişmelerin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1), 43-50.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S. & Mutluoglu, O. (2015). Laser Scanning and Photogrammetric Evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1) , 32-36. DOI: 10.18100/ijamec.41690
- Us, H., Köse, S. & Bıyık, M. E. (2022). Antik Mezar Taşlarının Yersel Lazer Tarama (YLT) Yöntemi ile Üç Boyutlu (3B) Belgelenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 11-16.
- Vilbig, J. M., Sagan, V. & Bodine, C. (2020). Archaeological Surveying with Airborne Lidar and UAV Photogrammetry: A Comparative Analysis at Cahokia Mounds. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33, 102509.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.

- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 94-101.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Yıldız, F., & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010a). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng.*, 19, 331-345.
- Yakar, M., Yılmaz, H., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H. & Çelik, H. (2010b). Silifke-Mersin Bölgesinde Roma Dönemi Eserlerinin 3 Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).
- Yaman, A. & Kurt, M. (2019). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesi ve Üç Boyutlu Modellenmesi İçin Geoslam Yersel Lazer Tarayıcının Kullanım Olanaklarının Araştırılması: Aksaray İli Ulucami Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 5-9.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. & Yakar, M. (2016b). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, M. & Uysal, M. (2015). Hava LİDAR Nokta Bulutunun Sayısal Yükseklik Modeli Doğruluğuna Etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3): 15-20.
- Yılmaz, M. & Yakar, M. (2006). LİDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2: 23-33.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Yıldız, F., Karabork, H., Kavurmacı, M. M., Mutluoglu, O. & Goktepe, A. (2009). Monitoring of corrosion in fairy chimney by terrestrial laser scanning. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4(1), 86-91.



© Author(s) 2022.

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