

e-ISSN
2717-6797

TÜRKİYE

LiDAR DERGİSİ

Turkish Journal of LiDAR



Cilt/Vol: 4
Sayı/ Issue: 1
Haziran/ June, 2022



Türkiye LİDAR 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 LİDAR Dergisi,

- ✚ Yersel, hava ve mobil LİDAR 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 LİDAR Dergisinin kapsamı;

- ✓ Temel LİDAR 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 ULVİ**, 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**,
rcomert@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
01-10**	<i>Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği</i> <i>Investigating the Possibilities of Using Terrestrial Laser Scanners in Reverse Engineering Applications; Classic Car Example</i> Doğa Fidan, Mücahit Emre Oruç, Seda Nur Gamze Hamal & Şafak Fidan
11- 16**	<i>Antik Mezar Taşlarının Yersel Lazer Tarama (YLT) Yöntemi ile Üç Boyutlu (3B) Belgelenmesi</i> <i>Three-Dimensional (3D) Documentation of Ancient Tombstones by Laser Scanning</i> Hazal Us , Sena Köse & Muhammed Emin Bıyık
17-20**	<i>Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi</i> <i>(Evaluation of Use in Beauty and Care Sector by Modeling the Human Face with Hand-held Laser Scanners</i> Sude Deniz Uzun, Seda Nur Gamze Hamal & Şafak Fidan
21- 26**	<i>Yersel lazer tarayıcıların tarama çözünürlüğü üzerine bir araştırma: Bina içi örneği</i> <i>A research on the scanning resolution of Terrestrial Laser Scanners: An indoor example</i> Ceyda Ulvi

Derleme Makaleleri; Review Articles*;

S. No	Makale Adı (Tr./En.) ve Yazar Adı
27-36*	<i>Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması</i> <i>The Use of Laser Scanners in Documenting Cultural History</i> Davut Balcı



Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği

Doğa Fidan^{*1}, Mücahit Emre Oruç², Seda Nur Gamze Hamal³, Şafak Fidan³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

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

³Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tersine Mühendislik,
Yersel Lazer Tarama,
3B Model,
Teknik Çizim.

Öz

Tersine mühendislik bir nesnenin veya mekanizmanın, fiziksel yapısının ve çalışma prensiplerinin anlaşılması, detaylı şekilde analiz edilmesi işlemidir. Tersine mühendislikte veriye ulaşmadaki temel amaç, nesnenin ölçekli bir şekilde üç boyutlu (3B) sayısal modelini elde etmektir. Gelişen teknolojiyle beraber, tersine mühendislik uygulamalarında yersel lazer tarama sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Yersel lazer tarama sistemleri ile nesnenin yüksek hassasiyetlerdeki sayısal verileri kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada klasik bir otomobilin yersel lazer tarayıcı ile 3B modellenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen nokta bulutu verisi üzerinden otomobile ait bazı kaporta parçalarının teknik çizimleri tamamlanarak yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında kullanımı araştırılmıştır.

Investigating the Possibilities of Using Terrestrial Laser Scanners in Reverse Engineering Applications; Classic Car Example

Keywords

Reverse Engineering,
Terrestrial Laser Scanning,
Three-Dimensional Model,
Technical Drawing.

Abstarct

Reverse engineering is the process of understanding and analyzing in detail the physical structure and working principles of an object or mechanism. The main purpose of accessing data in reverse engineering is to obtain a scaled three-dimensional (3D) digital model of the object. With the developing technology, the use of terrestrial laser scanning systems in reverse engineering applications has become increasingly common. With terrestrial laser scanning systems, high precision numerical data of the object can be obtained easily. In this study, 3D modeling of a classic car was carried out with a terrestrial laser scanner. Using the obtained point cloud data, the technical drawings of some car body parts were completed and the use of terrestrial laser scanners in reverse engineering applications was investigated.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(dogafidan.61@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0856-5594
(mucahitemre27@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-2454-9279
(sedanurgamzeshamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(safakfidan@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9772-0968

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

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), 01-10

1. GİRİŞ

Tersine Mühendislik; bir nesneyi, makineyi ya da teknolojiyi geliştirmek, çoğaltmak, çalışma prensibini anlamak amacıyla parçalara ayırmak ve bu parçaları tekrar birleştirip yeniden bir bütüne ulaşmak olarak da tanımlanabilir. Buradaki tersine terimi sayısal ve fiziksel ortamlar arasında yapılan veri alışverişinin çift yönlülüğünü anlatmaktadır (Rekoff, 1985; Varady vd. 1997; Anwer & Mathieu, 2016).

Tersine mühendisliğe başvurmada birçok etmen yer almaktadır. Bunlardan başlıcaları; üreticinin bir parçayı uzun zamandır üretmemesi, orijinal tasarım hakkında yeterli belgeye ve teknik çizime sahip olmaması, ürünün orijinal üreticisinin artık bulunmaması, orijinalini üretecek olan firmanın ek ya da yedek parça sağlamada yetersiz olması, ürünün bazı yetersiz görülen özelliklerinin yeniden tasarlanması geliştirilmesi ve analiz edilmesidir.

Tersine mühendislik heykeller, protezler, mekanik parçalar vb. nesnelerin üretiminde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Ayrıca askeri alanda, biyomedikal sektöründe de hassas modelleme gerektiren birden çok alanda kullanılabilir.

Tersine mühendislik uygulaması mevcut bir fiziksel nesneden (numuneden) başlamaktadır. Çeşitli sayısallaştırma yöntemleri ile nesne yüzeylerinin nokta bulutu verileri otomatik veya manuel olarak toplanmaktadır. Daha sonra nokta bulutları nesnenin oluşum bölümlerine göre parçalara ayrılmakta ve farklı yüzey özelliklerine uyarlanmaktadır. Bu aşamalar doğrultusunda nesnenin tamamının ya da istenilen bir parçasının bilgisayar destekli tasarım modeli (CAD) oluşturulabilmektedir (Yang & Chen, 2004).

Tersine mühendislikte var olan bir nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla ürünün 3B sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesi gereklidir. Teknik çizimler ile bu nesnelerin geometrik özelliklerini ortaya çıkarmak ve 3B CAD modelini yaratmak bazı durumlarda güç olabilmekte bu da üretim ve imalatta aksamalara yol açabilmektedir. Bu sebeple üreticiler ve tasarımcılar, nesnelere iki boyutlu ekranlarda düşük ölçekte görüntülemekten ziyade yüksek çözünürlüklü ve ölçekli bir şekilde değerlendirmeye daha çok önem vermektedirler (Varady vd., 1997).

Son on yıldan itibaren tersine mühendislik çalışmalarında; fiziksel nesneden edinilen nokta bulutlarından, 3B modellerden ve 3B katı model verilerinden yararlanılmaktadır. Tersine mühendisliğin otomobil endüstrisi gibi estetik tasarımın önemli olduğu alanlara uygulanmasında, 3B ve ölçekli modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Anwer Mathieu, 2016).

LİDAR (Light detection and ranging) (ışık algılama ve mesafe) sistemleri uzaktan algılamanın temel prensiplerine göre ölçüm yaparlar (Sağlam vd., 2020). LİDAR yöntemi objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir (Schultz, 2010).

LİDAR radara benzer bir şekilde çalışan ve tarayıcı sensörden nesnelere olan mesafeyi ölçmek için lazer atımlı ışık kullanan bir tür uzaktan algılama tekniğidir (Alptekin vd., 2019). LİDAR sistemleri saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir

işlem akışına sahiptir. LİDAR sistemleri sahip olduğu sistematik ve teknolojik özellikler sayesinde kısa sürelerde fiziksel verilerin hassas, hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde sayısallaştırılmasına olanak tanımaktadır (Avdan vd., 2013). Tarama işlemi sonunda işlenen veriler istenilen formatlara dönüştürülebilmekte ve aktarılabilir. LİDAR yöntemi diğer 3B modelleme yöntemleriyle de bir bütünleşme sağladığından çoğu mühendislik uygulamasında tercih edilen bir teknolojidir. Sağladığı avantajlar sayesinde LİDAR tekniği 3B modelleme ve ölçme uygulamalarında son yıllarda sıklıkla uygulanmaktadır (Yakar vd., 2010).

Tersine mühendislik uygulamalarında; 3B tarama teknolojilerinin uygulanması ve bilgisayar destekli çizim ve tasarım alanında nesnelerin fiziksel dijital geometrik modellerinin yapılandırılabilmesi üzerinde son yıllarda yapılan çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Sansoni & Docchio (2004) Ferrari 250 Mille Miglia marka ve model bir yarış arabasını fotogrametrik yöntem ile 3B olarak modellemiştir. Ön tampon ve tavan gibi geniş ve homojen dağılıma sahip yüzeylerin 3B CAD modellerinin oluşturulması eksiksiz olarak sağlanırken homojen olmayan yüzeylerde (ayrıntılı) eksik model oluşturulmuştur. Bu çalışmada homojen yüzeylerde fotogrametri tekniğinin kullanımı otomobil üreticilerine somut bir fayda sağladığı ve gerçek boyutlu otomobiller ya da gerçek boyutlu otomobil maketlerinin üretilmesinde uygulanabilir bir teknik olduğu görülmektedir.

Altıntaş (2014) yersel fotogrametrik yöntemle bir gemi maketini 3B olarak modellemeyi amaçlamıştır. Elde edilen sayısal modelin hassasiyeti istenilen ayrıntı seviyelerini sağlamakta ve bu sayısal model yardımıyla nesne yeniden üretilebilmektedir. Ayrıca Altıntaş fotogrametrik yöntemin tersine mühendislik uygulamalarında kullanım alanlarına değinmiştir.

Şahin vd. (2017) hasarlı dişlilerin yeniden üretilmesinde tersine mühendislik yaklaşımları kullanmıştır. Bu çalışmada hasarlı durumda olan helis dişlisinin 3B taramasının ardından CAD ortamında tasarımı gerçekleştirilmiştir. Helis dişlisinin hasarlı bölgesinin onarımına geçmeden önce orijinal diş profilleri belirlenmiştir. 3B yazıcıda üretilen onarılmış dişlinin orijinal dişli ile ölçülerinin karşılaştırılması yapılarak doğruluğu test edilmiştir. Orijinal üretim parametreleri bilinmeyen nesnelere üzerinde gerçekleştirilen tersine mühendislik yaklaşımlarıyla birlikte nesneye ait teknik sayısal değerlere ulaşılabilir. Tersine mühendislik ve 3B tarama yöntemleri karmaşık endüstriyel parçalar üzerinde ürün geliştirme ve imalat süreçlerinde üreticilere hız ve kolaylıklar sunmaktadır.

Önçag & Tosun (2018) çeşitli çevresel ve doğal nedenlerden dolayı deforme olmuş ve tasarım verisi mevcut olmayan bir heykelin tersine mühendislik yöntemi ile yeniden üretimini amaçlamıştır. Uygulama nesnesi olan efe maskotu heykelinde yer yer çatlaklar ve boyasında deformeler mevcuttur. Çalışmada veri toplama yöntem ve donanımı olarak LİDAR kullanılmış ve heykelin 3B modeli elde edilmiştir. Esere 3B tarama öncesi herhangi bir müdahale yapılmamış, eserin deforme olan bölgeleri bilgisayar destekli çizim yazılımında düzenlenmiştir. Kullanılan yöntem

sayesinde esere herhangi bir zarar vermeden (temas etmeden) bilgisayar ortamında sayısal veriler üzerinde yapılan teknik çizimin ardından eser 3B yazıcıda ölçekli bir yeniden üretilmiştir. Lazer tarayıcılar tersine mühendislik uygulamalarında kültürel ve tarihi eserlerin onarımında, ilk zamanki tasarım bilgilerine erişmede ve teknik dokümanlarının oluşturulmasında güvenilir bir şekilde kullanılabilir donanımlar olduğu görülmüştür.

Burdziakowski & Tysiac (2019) çalışmalarında gemilerin üç boyut modellenmesi için yersel lazer tarama ve yakın mesafe fotogrametrisi tekniklerini birlikte kullanmışlardır. Çalışmanın uygulama objesi Kobben sınıfı bir denizaltı olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yalnızca bir tekniğin modellenen nesnenin tamamı için yeterli bir veri aralığı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle obje üzerinde eksiksiz geometrik bilgi elde etmek için yakın mesafe fotogrametrisi ve yersel lazer tarama yöntemlerini bütünleştiren bir yaklaşım önerilmektedir.

Demir vd. (2019) tersine mühendisliğin yöntemleri kullanarak bir uyluk (femur) kemiğinin 3B ve CAD modelini oluşturmayı amaçlamışlardır. Uygulamada veri toplama aşamasında temassız optik tarama sistemi kullanılmıştır. Kemik 3B olarak modellenip CAD ortamına aktarılmıştır. Düzensiz geometrik formundan kaynaklı uyluk kemiği tasarımı ve teknik çizimi oldukça zor bir nesnedir. Elde edilen 3B CAD model sayesinde obje üzerinde ölçülendirme ve tasarım yapılabilir hale getirilmiştir. Ayrıca kemik üzerinde planlanan cerrahi kesim, diğer tıbbi protez parçalarının kemiğe takımı ve kişiye özel protez üretiminde başarı oranını arttıracak görülmektedir.

Chauhan vd., (2020) Suzuki marka Maruti model bir otomobilin dikiz aynasını tersine mühendislik yöntemleriyle analiz etmeyi ve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Analizler doğrultusunda orijinal tasarımı değiştirilen ve yeniden yapılandırılan edilen dikiz aynası 108 km/saat hızda maksimum %45,7 oranında sürtünme azalması sağlamıştır. Tersine mühendisliğin yöntemlerini kullanarak, mekanik otomobil parçaları üzerinde gerçekleştirilen çeşitli simülasyon ve deneyler sonucundaki teknik geliştirmeler yakıttan tasarrufu ve daha az miktarlarda gaz salınımını sağlayacağı tespit edilmiştir.

Gregor (2020) otomobil endüstrisinde nokta bulutları ve 3B modellerin kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Endüstrideki küreselleşmeyle birlikte müşterilerin gereksinimleri hızla değişmektedir. Endüstriyel firmalar rekabet gücünü koruyabilmek için ürünlerinde sürekli olarak yenilenme, işlevsellik, dayanıklılık, performans üretimde ise hız ve maliyet düşürme yollarında artışa gitmelidir. Tasarımda ve üretimde modern bilgi teknolojilerinin kullanımıyla gerekli olan ihtiyaçlar karşılanabilmektedir. 3B lazer taramanın sistemleri firmalar arasında gerçekleşen rekabete ve müşteri ihtiyaçlarına ayak uydurmayı sağlamaktadır. 3B modeller ve sanal gerçeklik uygulamaları otomobil üretim süreçlerine verim, hız ve birçok durumda çeşitli faaliyetlerin maliyetini düşürebilir nitelikte olduğu savunulmuştur.

Haleem (2021) 3B tarayıcılar kullanarak bir karbüratörü modellemeyi amaçlamıştır. Günümüzde tersine mühendislik, endüstri, tersine mühendislik, ürün

tasarımı, hızlı üretim, multimedya, mimari, denetim ve kalite kontrol gibi uygulamalarda 3B tarayıcılar sıklıkla kullanılmaktadır. 3B tarama işleminde gerçek dünyaya ait veriler dijital (sayısal) bir biçime dönüştürülmektedir. Sayısal ortamda elde edilen 3B karbüratör modeli sayesinde objenin performansını arttırmak amacıyla istenilen analizler ve simülasyonlar kolaylıkla uygulanabileceği savunulmuştur. Bu çalışmada yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmıştır. Uygulama nesnesi; ender nitelikte, parçalarının üretimi günümüzde olmayan ve tedarik edilemeyen 1980 yılı üretimli Chevrolet Silverado marka ve model otomobil tercih edilmiştir. Çalışmada Faro FARO Focus^s 350 yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Arazi ve ofis aşamaları tamamlandıktan sonra otomobilin nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Son olarak Solidworks yazılımında teknik çizimler gerçekleştirilmiş ve aracın bazı kaporta parçalarının CAD modeli oluşturulmuştur.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

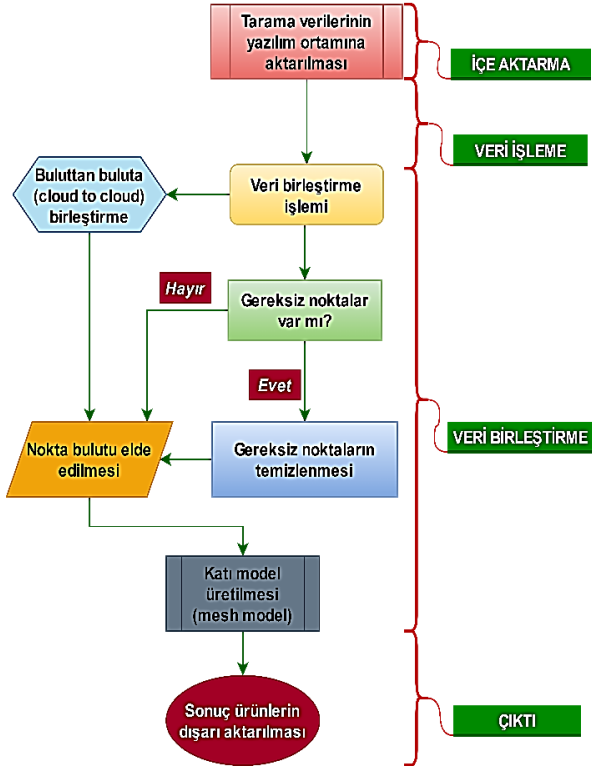
2.1. Tersine Mühendislik

Tersine mühendislik; objenin çalışma prensibine göre uygun şekilde yeniden tasarlanması, ölçüm, test, analiz ve geliştirme işlemlerinin uygulanması ve nesnenin yeniden üretilmesi olarak ifade edilmektedir (Yang & Chen, 2004).

Tersine mühendislik uygulamaları otomotiv, makine, havacılık, medikal vb. sektörlerde sıklıkla uygulanmaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber son yıllarda farklı sektörlerde tersine mühendislik uygulamaları ivme kazanmıştır. Son 30 yılda yapılan araştırmalar neticesinde pek çok alanda yazılım ve donanım sistemlerinin gelişmesiyle günden güne daha elverişli sonuç ürünlerin ortaya çıkması sağlanmıştır (Wang, 2011; Ören vd., 2014; Önçag vd., 2017).

Tersine mühendislik yönteminin süreci tündengelim metoduna göre uygulanmaktadır. Üretilmek istenen bütüne ait parçaların teknik verilerinin kısmen ya da tamamen eksik olduğu durumlarda; gerekli modelleme, işleme, teknik çizim ve tasarımın yapılması, üretim ve imalat süreçlerini kapsamaktadır. Ayrıca bu süreçte nesnelerin eksikliklerinin giderilmesine ve geliştirilmesine, kullanım olanaklarının ve veriminin artırılmasına da imkân vermektedir (Önçag vd., 2017).

Tersine mühendislik uygulamalarında yazılımlarda oluşturulan 3B modele, mekanik simülasyonlar entegre edilebilmekte ve üretim süreci görselleştirilebilmektedir. Görselleştirme işlemi, şekil ve yüzey optimizasyonu gibi sanal bir modeli tanımlayabilen diğer tüm süreçleri içerecek şekilde genişletilebilir (Burdziakowski & Tysiac, 2019). Bu nedenle, tersine mühendislik, yalnızca nesnenin yeniden yapılandırılmasına değil, aynı zamanda malzeme özelliklerinin ve üretim süreçlerinin takibine de odaklanmaktadır. Nesnenin 3B CAD modelini oluşturmak için nesnenin geometrisinin çıkarılması da bir diğer çok kullanılan yaklaşımdır (Anwer & Mathieu, 2016). Çalışmada izlenen işlem adımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İş akış şeması (Çelik vd. 2020)

Tersine mühendislik sürecinin birden fazla adımı olmasına rağmen, bunların tamamı üç ana işlem adımına indirgenebilir. Tersine mühendisliğin üç ana işlem adımı; veri toplama, veri işleme ve 3B CAD modellemedir (Anwer & Mathieu, 2016).

Ürün sayısallaştırma, genel olarak fiziksel bir nesnenin ölçüm ve tarama cihazları kullanılarak sayısallaştırılması aşamasını ifade etmektedir. Nesnelerin sayısallaştırılması donanımlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Erdal & Makineci, 2021). Tersine mühendislikte veri elde etme aşamasında kullanılan donanımlar temaslı ve temassız ölçüm donanımları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Temaslı sistemlerde, belirli eksenlerde hareket eden bir ölçüm cihazı, koordinatları istenen noktaya temas ettirilerek hassas biçimde ölçüm işlemi gerçekleştirilir. Bu sistemlerle yüzeyin tamamının verisi değil sadece yüzeydeki istenen noktanın verileri elde edilebilmektedir. Sistem nesne ile doğrudan temas sağladığından yüksek hassasiyetli bir şekilde veri elde edebilmektedir. Yüzey ve yüzeyin sürekliliği hakkında daha çok bilgi sahibi olmak için alınan noktaların sıklaştırılması durumunda, tarama ve veri işleme süreçleri uzun sürmekte ve büyük veri setlerini işlemek için daha nitelikli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu yöntem kullanılarak serbest yüzeylerden veri elde edilmesi diğer yöntemlere göre daha zordur. Bu sistemin diğer tarama yöntemine göre daha maliyetli olması ve yüzeyin modellenmesi için ölçüm cihazının yüzeye temas etmesi diğer dezavantajlar olarak sıralanabilir. Bu tür ölçüm yöntemini kullanan donanımlardan en bilineni koordinat ölçüm makineleri ve mekanik kollu makine sistemleridir (Altıntaş 2014; Gerbino vd., 2014).

Temassız ölçüm donanımları uzaktan algılamanın prensiplerine göre çalışmaktadır. Temassız ölçüm donanımları nesne ile herhangi bir fiziksel bağlantı ya da

temas olmadan doğrudan hassas ve otomatik bir şekilde veriye ulaşmayı sağlamaktadır (Kabadayı vd., 2020; Ulvi vd., 2020; Ernst vd., 2021; Kaya vd., 2021a). Nesnenin tamamının sayısallaştırılması için nesnenin etrafından farklı konumlardan alınan yüzey ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Karasaka & Ulutaş, 2021). Bu ölçümler daha sonra veri işleme aşamasında çeşitli veri işleme yazılımları kullanılarak hassas ve otomatik olarak birleştirilmekte, temassız ölçümler sayesinde hızlı güvenilir düşük maliyetli ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (Yakar vd. 2016; Erdal & Makineci 2021; Kaya vd., 2021b; Memduhoğlu vd., 2020). Temassız ölçüm donanımlarına sayısal kameralar, insansız hava araçları, mobil ve yersel lazer tarayıcılar örnek olarak verilebilir (Çelik vd., 2020; Polat vd., 2020; Şenol vd., 2020).

Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım, çizim ve üretim uygulamalarındaki gelişmelerle birlikte, 3B sanal modellerin yaratılması tersine mühendislik için yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Veri işleme ve bilgisayar destekli teknik çizim aşamasında yazılımlar devreye girmektedir. Tersine mühendislikte tasarımcılar ve teknik personeller 3B modelleme, bilgisayar destekli çizim ve tasarım aşamasında oldukça fazla zaman harcamaktadır. Verilerin toplanması, analiz edilmesi ve 3B verinin elde edilmesi bu aşamada hız kazanmada oldukça önemlidir (Yakar & Doğan, 2017; Şenol vd., 2021). Bu kapsamda yazılımlar veri toplama aşamasında kullanılan donanıma entegre olabilmeli, çizim ve tasarımda esneklik sağlayabilmelidir. Ayrıca kullanılan veri işleme yazılımı farklı dış ortamlara çeşitli dış aktarım seçenekleri sunmalıdır (URL 1; URL 2).

2.2. Lazer Tarama Sistemleri

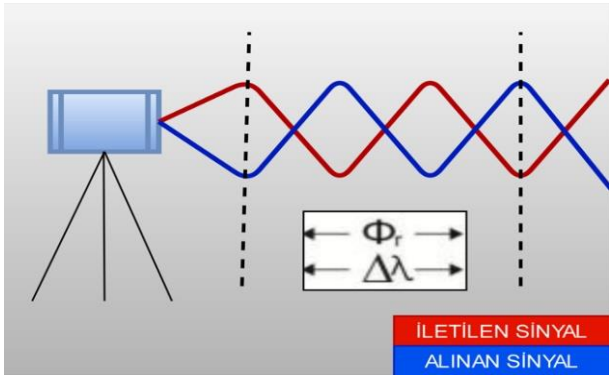
Yersel lazer tarama sistemleri günümüzde birçok disiplinlerde etkin şekilde kullanılmakta ve kullanımı giderek artmaktadır. İlgili çalışmalarca kullanılan bu teknik ile birçok sonuç ürün elde edilebilmektedir. Şekil 2'de uygulama aşamasında kullanılan yersel lazer tarayıcı gösterilmektedir.



Şekil 2. Taramada kullanılan yersel lazer tarayıcı

Yersel lazer tarayıcı ile taranan bir nesnenin veya alanın tarama sonucunda nokta bulutu, alana ait temel ölçme verileri, ortofoto görüntüleri ve 3B modelleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da yukarıda sıralanan veriler uygulama sonunda elde edilmiştir.

Lazer tarayıcılar, ölçüm işlemi gerçekleştirilecek nesneye direkt olarak temas etmeden uzaktan algılama tekniği ile objelere ait bütün detay noktalarını ve bu detaylara ait noktaların lokal ya da coğrafi koordinatlarının elde edilmesini sağlamaktadır (Yakar vd. 2014; Çelik vd. 2020). Yersel lazer tarayıcı, saniyede gönderilen ışının ölçüm alanına çarparak tarayıcıya geri gelmesinin ardından geri yansıyan ışının yaptığı faz farkının karşılaştırması prensibine göre gerçekleştirilmektedir (Ulvi & Yakar, 2014) (Şekil 3). Bu sayede taraması yapılan nesnenin detay ve derinlik bilgileri elde edilerek 3B modeli elde edilmektedir (Sabuncu & Özener, 2020). Son olarak nesnesinin detay hatları hesaplanarak gerçek boyutları ile birlikte dijital ortamda görselleştirilmesi sağlanmaktadır (Vosselman & Maas, 2010; Karasaka, 2012; Beg, 2018).



Şekil 3. Faz farkı yöntemi

Zaman farkı (Δt) (Eşitlik 1), gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki faz farkı ($\Delta\phi$) ve sinyal periyodu arasındaki faz farkı olan λ/c ile formüle edilmektedir. (Karasaka, 2012; Çelik vd., 2020; Beg, 2018). Faz mesafesinin hesaplanması ise Eşitlik 4 ile elde edilmektedir. Uygulama aşamasında kullanılan yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

$$\Delta t = t_y - t_a \quad (1)$$

$$\rho_{\text{sinyal}} = c * (t_y - t_a/2) \quad (2)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\phi \lambda}{2\pi c} \quad (3)$$

$$R_{\text{faz}} = \frac{\Delta\phi}{4\pi} * \lambda \quad (4)$$

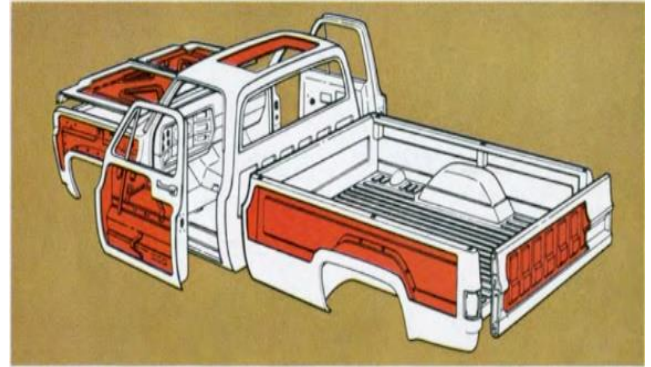
Tablo 1. Faro FocusS 350 özellikleri (Çelik vd. 2020; Oruç & Öztürk 2021)

Özellik	Değer
Tarama Mesafesi	0.6 m - 350 m
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32
Kalite	2x, 3x, 4x, 6x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
İç düzlük	±1mm
Ağırlık	4,2 kg
Boy	230x183x103mm

2.3. Uygulama Nesnesi

Uygulama nesnesi Chevrolet marka ve Silverado model bir otomobil olarak belirlenmiştir. Chevy veya Chevrolet Division of General Motors Company, 1911'de ABD merkezli olarak kurulmuş bir otomobil şirkettir. Chevrolet otomobil şirketinin Camaro, Corvette, Lancetti, Captiva, Aveo, Kalos vd. isimlerinde binek araç modelleri bulunmaktadır. Chevrolet sadece binek otomobil değil kamyon ve kamyonet üretimi de gerçekleştirmektedir. Apache, Dallas, Suburban ve Silverado ürettiği kamyonet modellerinden birkaçıdır (URL 3).

Chevrolet marka araçlar dünya çapında birçok otomotiv pazarında satılmaktadır. Chevrolet Silverado kamyonet türü otomobil 1975 yılında üretilmeye başlanmıştır (Şekil 4). Silverado Amerikan kamyonetlerinin en uzun üretilen üçüncü modeli olmuş ve uzun yıllar Amerikan modelleri içerisinde en çok tercih edilen model olma özelliğini de korumuştur (URL 3).



Şekil 4. Uzun şasi Chevy Silverado marka ve model otomobilin kaporta parçaları (URL 3)

Uygulamada 1980 model bir Chevrolet'in seçilmesindeki temel sebep otomobilin oldukça ender olmasıdır. Uygulama nesnesi Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 1980 model Chevrolet Silverado

3. UYGULAMA

Uygulama bölümü arazi aşaması ve ofis aşaması olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1. Arazi Aşaması

Tarama işlemine geçilmeden önce ölçüm parametreleri ve istasyon noktaları planlanmıştır. Tarama verilerinde istenmeyen verilerin oluşmaması için tarama esnasında farklı nesnenin lazer tarayıcı ile uygulama nesnesi arasına girmemesi sağlanmıştır. Bu durum daha kaliteli bir sonuç ürün oluşturulması ve teknik personele zaman kaybı yaşatılmaması açısından önemlidir.

Uygulama nesnenin tarama işlemi toplamda 15 farklı istasyonda gerçekleştirilmiştir. İstasyon noktaları otomobilin etrafına homojen bir biçimde dağıtılmıştır. Otomobilin yüksekliği göz önüne alındığında her yüzeyin verilerini eksiksiz bir şekilde elde edebilmek için değişken alet yükseklikleri ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tarayıcıya entegre kamera sistemi ile ortamın fotoğrafları tarama esnasında otomatik olarak çekilmiştir. Kamera modu olarak HDR özelliği açık şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). HDR modu, ışık oranının yetersiz veya fazla olduğu durumlarda farklı kontrast oranlarında fotoğrafların nokta bulutlarına giydirilmesi aşamasında gerçeğe daha yakın renklerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu özellik taramanın gerçekleşeceği ortamın ışık durumuna göre kullanıcı tarafından manuel olarak da değiştirilebilmektedir.



Şekil 6. Arazi çalışması

3.2. Ofis Aşaması

Arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra ofis aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada elde edilen ham tarama verileri Scene yazılımında işlenmiştir. Arazi aşamasında, hedef işaretleri (targets) kullanılmadığından nokta bulutu kümelerinin birleştirilmesi "buluttan buluta" tekniği ile tamamlanmıştır. Birleştirme işlemi ± 3.9 milimetre doğrulukla tamamlanmıştır.

Tarayıcıya bütünleşmiş fotoğraf makinesinden otomatik olarak çekilen fotoğraflar kullanılarak nokta bulutundaki her bir noktaya uygun renk değerinin atanması ile renklendirme ve nokta bulutu oluşturma işlemi tamamlanmıştır. Nokta bulutu verisinin farklı açılardan gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Farklı açılarda nokta bulutu görselleri

CAD modelin oluşturulması için nokta bulutu verisi Solidworks yazılımına aktarılmıştır. Çıktı ürünler olarak aracın belirli kısımları (sağ ön çamurluk ve sol arka tampon) üzerinde işlemler yapılmıştır. Aracın belirlenen parçalar solidworks yazılımına aktarıldıktan sonra "scan to 3D" eklentisi kullanılmıştır. "Scan to 3D" eklentisinde ağ modeli hazırlık sihirbazı seçeneği bulunmaktadır. Ağ modeli hazırlık sihirbazı 3B tarama cihazıyla taranıp CAD yazılımına aktarılan nokta bulutu yapısını düzenlemek için kullanılmaktadır.

Solidworks yazılımındaki "scan to3D" eklentisi ile nokta bulutu verisi "ascii" formatında içe aktarılmıştır. Nokta bulutu verisinden ağ modeli elde edebilmek için Scan to 3D eklentisinde ağ modeli hazırlık sihirbazı seçeneği aktifleştirilmiştir.

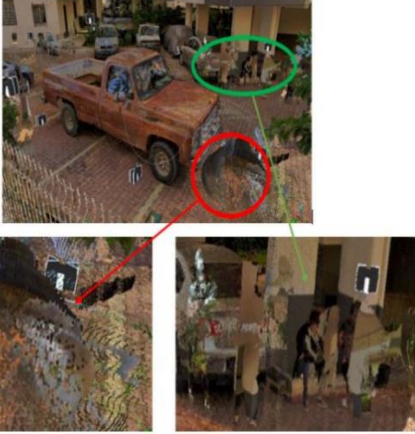
Ağ modeli hazırlık sihirbazındaki ilk olarak Nokta Bulutu Oryantasyonu yapıp ağ modeli oluşturma komutu gerçekleştirilmektedir. Ağ modeli hazırlık sihirbazının son aşamasında ise model üzerinde doldurulması gerekli boşlukları doldurmak için boşluk doldurma komutu seçilmiştir.

Ağ modeli üretildikten sonra yüzey modeli oluşturma aşamasına geçilmiştir. Yüzey Sihirbazı modülünde yönlendirilmiş oluşturma seçeneği seçilmiştir. Otomatik oluşturma seçeneği her zaman doğru sonuçlar veremeyeceği için yönlendirilmiş oluşturma seçeneği kullanılmıştır. Bunun sebebi ise tersine mühendislik uygulamalarında daha hassas çizimlere gereksinim duyulmasıdır. Bu aşamadan sonra yüzey şekilleri düzenlenmiş ve yazılımın sağladığı geometrik yapılarla manuel olarak yüzeyler kaplanmıştır.

4. BULGULAR

Tersine mühendisliğin işleyişine uygun olarak elde edilen veriler sayesinde otomobilin için tedarik edilemeyen, geliştirilmek istenen veya üretimde olmayan parçalarının, bilgisayar ortamına aktarılarak gerçek ölçülerinin daha kolay ve detaylı olarak elde edilmesi olanaklıdır. Bu doğrultuda otomobilin nokta bulutunun sağladığı 3B görselleştirmenin yanında istenilen parçalarının gerçek uzunluk ve ölçüm değerlerinin elde edilmesi sayesinde tasarımcılara ve teknik personele veri altlığı yönünden imkân sağlayacağı görülmektedir.

Tersine mühendislik çalışmasında uygulama nesnesi olarak seçilen klasik aracın yersel lazer tarayıcı ile taramaları gerçekleştirilmiştir. Tarayıcı menzili dahilindeki tüm nesnelere kaydettiğinden ve 360° tarama yapması sonucu oluşan istenmeyen birçok verinin (araç, bina, ağaç ve insanlar) oluştuğu tespit edilmiştir. 3B nokta bulutunda oluşan veri kirlilikleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu verilerin temizlenmesi, hem dosya boyutunda gereksiz veri yükü oluşturmaması hem de sade ve kaliteli veri ortaya çıkarılması bakımından önemlidir. Bu veriler nokta bulutu işleme yazılımı olan Scene yazılımında temizlenmiştir.



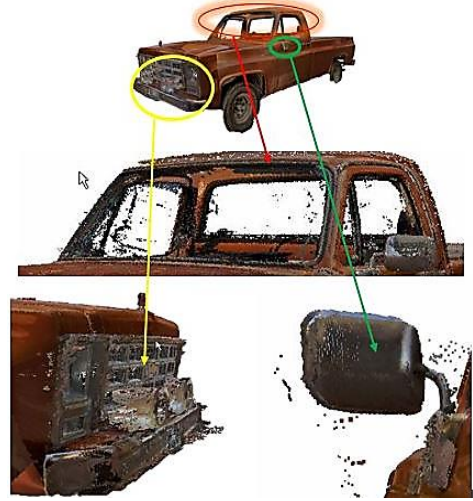
Şekil 8.

Modeldeki istenmeyen noktalar



Şekil 10. Otomobile ait sol arka çamurluğunun bilgisayar destekli çizimi

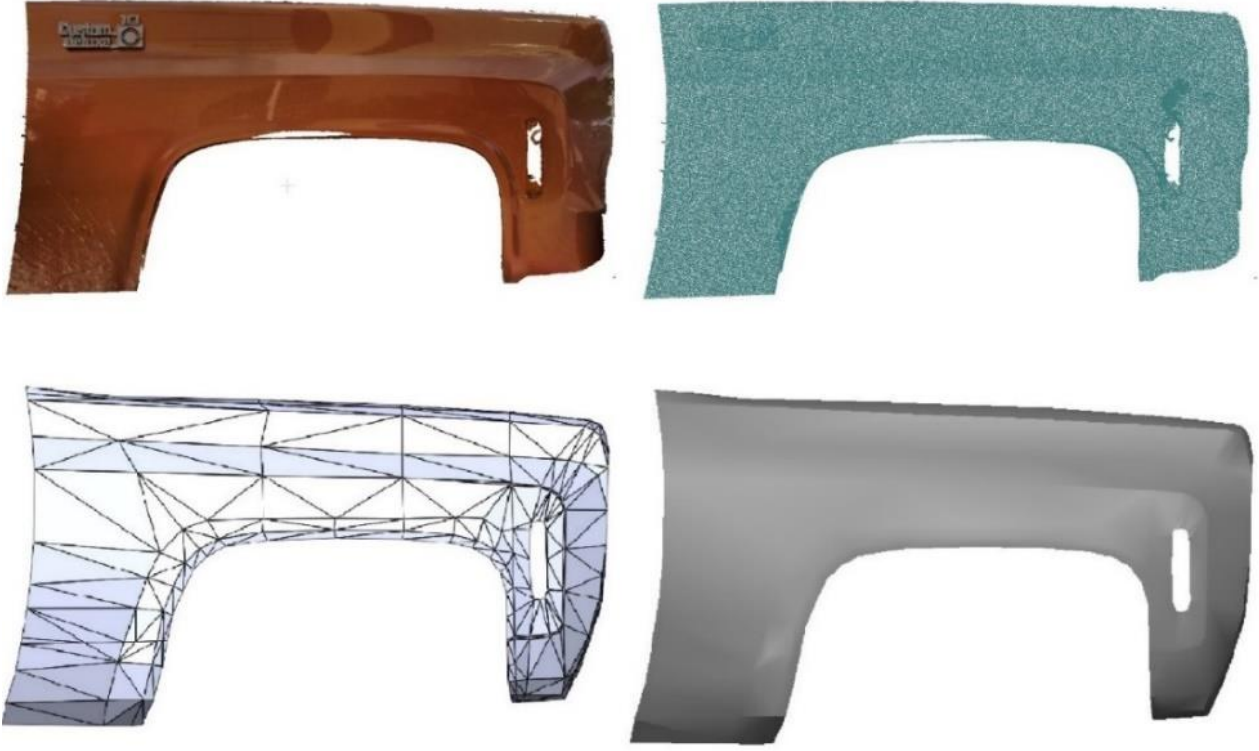
Nokta bulutu verisi incelendiğinde lazer tarayıcının çalışma prensibi olan lazer sinyali atımı ve algılanması ile aracın metalik parlak yüzeylerinin lazer sinyallerini yansıttığı tespit edilmiştir. Bu yansımalar, aracın ön ve arka korumalıkları, sağ ve sol aynaları, ön ızgara ve far kaplamalarında görülmekte ve veride bozulmalara neden olmaktadır. Bu bölgelerdeki yansımaların nedeni yüzeylerin parlak olmasıdır. Diğer yansıma yapan kısımlar ise aracın camlarıdır. Cam yüzeylerde veri bozulmaları, cam yüzeylerden lazer sinyalleri geçiş yapıp gönderilen sinyalin kırılmaları uğrayarak tarayıcıya geri gelememesidir. Bu da yüzeyin nokta bulutunda somut olarak oluşmasını engellemektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Yansıma yapan yüzeyler

Gereksiz noktaların temizlenmesinden sonra nokta bulutununun ve katı modellerin çıktıkları “.LAS” formatında alınarak diğer yazılımlarda çeşitli işlemlere tabi tutulmuştur.

Lazer tarama cihazlarından alınan ve “.LAS” formatındaki endüstriyel parçaların tarama dataları üzerinde Solidworks CAD yazılımının Scan to 3D modülü ile tersine mühendislik işlemlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada üzerinde çok fazla detay olmayan parçaların sorunsuz bir şekilde CAD verileri oluşturulabilmiştir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 11. Otomobile ait sağ ön çamurluğun bilgisayar destekli çizimi

5. SONUÇLAR

Tersine mühendislik, karmaşık bir donanım sisteminin düzenli bir şekilde incelenmesi sonrasında bir dizi özellik geliştirme süreci olarak tanımlanır. Bu süreç, orijinal tasarımcılar dışındaki kişiler tarafından, orijinal çizimlerden veya diğer belgelerden yararlanılmadan, çalıştırma ve bakım kılavuzları dışında yürütülmektedir.

Günümüzde uygulanan standart üretim metotları, ürünün bilgisayar ortamında tasarımının yapılmasıyla beraber başlayıp uygun yöntemlerle birlikte üretim aşamasındaki süreçleri kapsamaktadır. Tersine mühendislik sürecinin veri elde etme aşamasında güncel teknolojilerin kullanımı üretime doğru giden diğer aşamaları hızlandıracaktır.

Nesneyi sayısallaştırmak ve onu bir CAD modeline dönüştürmek zor ve karmaşık bir problemdir. Bütüncül ve tutarlı bir CAD modeli oluşturmak için tam otomatik bir çözüm günümüzde hala araştırılmaktadır. Bu bağlamda otomatiklik ve hız faktörlerinin yanında temel veriye doğru ve hassas bir şekilde erişim oldukça önemlidir.

LİDAR yöntemi 3B modellemede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve bu tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir veri toplama ve çözüm yöntemi olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada 1980 yılı üretimi Chevrolet Silverado marka ve model otomobilin Faro Focus+ 350 yersel lazer tarayıcıyla taranmıştır. Elde edilen nokta bulutu Scene yazılımında işlenmiştir. 3B model Solidworks yazılımına aktarılmış ve 3B CAD verisi üzerinde teknik çizim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın arazi aşamasında gerçekleştirilen tarama işleminde istasyon sayılarının artırılması ve istasyon noktalarının nesnenin çevresinde homojen bir şekilde dağıtılması elde edilen 3B modeldeki hassasiyeti

arttıracaktır. Otomobilin camları ve ön çamurluk kısmındaki metalik yüzey ışığı tam anlamıyla yansıttığından elde edilen nokta bulutunda bu kısımlardaki bozulmaların öne geçebilmek için matlaştırıcı boyalar ya da kaplamalar kullanılması önerilmektedir.

Uygulamanın ofis aşamasında elde edilen ham nokta bulutu verileri Scene yazılımında işlenmiş ve veriler bilgisayar destekli çizim yazılımı olan Solidworks yazılımına entegre edilmiştir. Bu yazılımda Scan to 3D eklentisinin ağ modeli hazırlık sihirbazı, düzenleme ve eğri sihirbazı komutları kullanılarak başarılı bir tersine mühendislik uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmada, yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir yöntem olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Günümüzün endüstri ortamında, firmaların sürekli bir şekilde devam eden yeni teknolojilere uyum sağlama/adapte olmaları gerekmektedir. Otomobil endüstrisi gibi alanlarda güncel iletişim ve bilgi teknolojilerinin kullanımı büyük ve çok uluslu şirketler için oldukça önemlidir. Yersel lazer tarayıcılar tersine mühendislik uygulamalarında üreticilere zamansal tasarrufun yanında tekrarlanabilir ölçü alma gibi avantaj ve esneklik sağlamaktadır. Yapılan çalışma ile yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir veri toplama yöntemi olarak kullanılabilir olduğu yazarlar tarafından savunulmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

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., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 1-4.

Altıntaş, P., Çak, T. & Yastıklı, D. D. N. (2014). Yersel fotogrametrinin tersine mühendislik uygulamalarında kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, bitirme çalışması.

Anwer, N. & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals*, 65(1), 165-168.

Avdan, U., Pekkan, E. & Çömert, R. (2013). Mağara ölçümlerinde yersel lazer tarayıcıların kullanılması (Tozman mağarası örneği). *Harita teknolojileri elektronik dergisi*, 5(2), 16-28.

Burdziakowski, P. & Tysiac, P. (2019). Combined close range photogrammetry and terrestrial laser scanning for ship hull modelling. *Geosciences*, 9(5), 242.

Chauhan, B. V., Vedrtanam, A. & Pratap, V. (2020). Designing Rear View Mirror of Car Using CFD and Reverse Engineering. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, 41(3), 373-380.

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.

Demir, H., Savaş, V. & Altuğ, M. (2019). Tersine mühendislik yöntemi ile cad datası oluşturma: Femur kemiği örneği. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9(1), 81-87.

Erdal, K., & Makineci, H. B. (2021). Documentation of Cultural Heritage with Backpack LiDAR Usage on Photogrammetric Purpose. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 1-6.

Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.

Gerbino, S., Martorelli, M., Renno, F. & Speranza, D. (2004). Cheap photogrammetry versus expensive reverse engineering techniques in 3d model acquisition and shape reconstruction. In *DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia*, 749-754.

Gregor, M. (2020). Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů v automobilovém průmyslu.

Haleem, A., Gupta, P., Bahl, S., Javaid, M., & Kumar, L. (2021). 3D scanning of a carburetor body using COMET 3D scanner supported by COLIN 3D software: Issues and solutions. *Materials Today: Proceedings*, 39, 331-337.

Karasaka, L. & Ulutaş, N. (2021). Cad-based modeling using three dimensional point cloud Data. *Turkey Lidar Journal*, 3(1), 25-30.

Karasaka, L. (2012). Mobil yersel lazer tarama sistemlerinin fotogrametrik rölöve projelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma.

Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021a). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.

Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021b). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.

Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.

Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.

Önçağ, A. Ç. & Tosun, H. (2018). İzmir Üniversiade oyunları maskot heykelinin tersine mühendislik yöntemleri ile dijitalleştirilmesi ve küçük ölçekli olarak 3B yazıcı ile imalatı. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(26), 1-10.

Önçağ, A. Ç., Tekcan, Ç. & Özden, H. (2017). Mekanik parçaların tersine mühendislik ile modellenmesinin değerlendirilmesi ve bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 43-49.

Ören, S., Yasa, E., Uğur, E., Poyraz, Ö., Akbulut, G. & Pilatin, S. (2014). Havacılık sektöründe optik ölçüm yöntemlerinin yeri ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi üzerine bir çalışma. *Engineer & the Machinery Magazine*, (654).

Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.

Rekoff, M. G. (1985). On reverse engineering. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, (2), 244-252.

Sabuncu, A. & Özener, H. (2020). Mimari dokümantasyonda yersel lazer tarama teknolojisi kullanımı: tarihi sismoloji binası örneği. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 45-52.

Saglam, A., Makineci, H. B., Baykan, N. A. & Baykan, Ö. K. (2020). Boundary constrained voxel segmentation for 3D point clouds using local geometric differences. *Expert Systems with Applications*, 157, 113439.

Sansoni, G. & Docchio, F. (2004). Three-dimensional optical measurements and reverse engineering for

- automotive applications. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(5), 359-367.
- Schultz, C. D. (2010). Reverse engineering. In AGMA 10FTM09, Fall Technical Meeting.
- Şahin, İ., Şahin, T. & Gökçe, H. (2017). Hasarlı dişlilerin tersine mühendislik yaklaşımıyla yeniden oluşturulması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 485-495.
- 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.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- 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*, 6(1), 25-36.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Varady, T., Martin, R. R. & Cox, J. (1997). Reverse engineering of geometric models an introduction. *Computer-aided design*, 29(4), 255-268.
- Vosselman, G. & Maas, H. G. (2010). Airborne and terrestrial laser scanning. CRC press.
- Wang, W. (2011) Reverse engineering technology of reinvention. NW, Washington, USA, CRC Press Taylor & Francis Group.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röleve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik röleve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Ulvi, A., Toprak, A. S. & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods.
- Yang, Z. & Chen, Y. (2005). A reverse engineering method based on haptic volume removing. *Computer-Aided Design*, 37(1), 45-54.

İnternet Kaynakları

- URL 1 Hexagon Metrology. "Lazer Tarayıcılar" http://www.hexagonmetrology.com.tr/LazerTarayicilar_107.htm#.V2VI6buLRdg.
- URL 2 Mega Danışmanlık Koordinat Ölçüm Makineleri. "Kontrol Ölçme Makineleri". http://www.megadanismanlik.com.tr/koordinat_olcme_makineleri-88-hizmet.html.
- URL 3 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Chevrolet>.



© Author(s) 2022.

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



Antik Mezar Taşlarının Yersel Lazer Tarama (YLT) Yöntemi ile Üç Boyutlu (3B) Belgelenmesi

Hazal Us*¹, Sena Köse¹, Muhammed Emin Bıyık¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel Lazer Tarama,
3B Model,
3B belgeleme,
Antik mezar.

ÖZ

Yüzlerce yıllık bilgi birikimine ev sahipliği yapmakta olan kültürel miras eserleri zamanla çeşitli sebeplerden dolayı yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bundan dolayı kültürel mirası gelecek nesillere aktarabilmek için belgeleme çalışması yapılması zorunluluk haline gelmiştir. Kültürel mirasın belgelenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Daha önceleri klasik olarak belgelenen eserler, teknolojinin gelişmesine ile birlikte daha ayrıntılı ve hassas belgelenmeye başlanmıştır. Özellikle dijital kameralar ile birlikte fotoğraf ve Yersel Lazer Tarama (YLT) verileri ile belgeleme sanatı gün geçtikçe önem kazanmıştır. Dijitalleşmenin ve fotoğrafın entegrasyonu ile birlikte 3 boyutlu (3B) belgeleme çalışmaları da hız kazanarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Fotoğraf ile belgelenmenin getirdiği avantajlarının yan sıra eksiklikleri olduğu için YLT yöntemi belgelemede kullanılmaya başlanmıştır. YLT yöntemi, kültürel mirasın belgeleme çalışmalarında doğruluk, zaman ve maliyet açısından büyük avantaj sağlamasının yanında yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmesine imkân sağlamaktadır. YLT cihazı ile bu çalışmada tarihi mezar taşlarına herhangi bir temas uygulanmadan dijital olarak belgelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma içerisinde mezar taşı farklı konumlardan YLT cihazı ile taranmıştır. YLT verilerinden 3B modeller üretilmiş ve görsel olarak sunumu gerçekleştirilerek tarihi mezar taşının belgelenmesi yapılmıştır.

Three-Dimensional (3D) Documentation of Ancient Tombstones by Laser Scanning

Keywords

Terrestrial Laser Scanning,
3D Model,
3D documentation,
Ancient tomb.

ABSTRACT

Cultural heritage works, which are home to hundreds of years of knowledge, face the risk of extinction over time for various reasons. Therefore, documentation work has become necessary to transfer cultural heritage to future generations. Many methods are used in the documentation of cultural heritage. Previously, traditionally documented works began to be documented more thoroughly and precisely with the advancement of technology. Especially with digital cameras, the art of documenting with photography and Terrestrial Laser Scanning (TLS) data has gained importance day by day. With the integration of digitalization and photography, three dimensions (3D) documentation studies have gained speed and various methods have been developed. The TLS method has started to be used in documentation as it has deficiencies as well as the advantages of documenting with photography. The TLS method provides a great advantage in terms of accuracy, time, and cost in documenting cultural heritage, as well as providing high-resolution data. The TLS device, in this study, is aimed to document the historical tombstones digitally without any contact. In the study, the tombstone was scanned with a TLS device from different locations. 3D models were produced from TLS data and visually presented to document the historical tombstone.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

{hazalusss@gmail.com} ORCID ID 0000-0002-3667-7326
{kosesena62@gmail.com} ORCID ID 0000-0002-0540-5774
{muhammedeminbiyik3301@gmail.com} ORCID ID 0000-0001-9725-2893

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

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

Geliş Tarihi/Received: 12/06/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 22/06/2022

1. GİRİŞ

Bir ülkeyi diğer ülkelerden ayıran en önemli özelliklerden başlıcası, kültürel mirasa konu olan eserlere ev sahipliği yapması ve bu eserlere verilecek önemin gösterilmesi gelmektedir (Çevik, 2016, Ulvi vd., 2020; Ernst vd., 2021; Kaya vd., 2021a). Tarih boyunca çeşitli uygarlıkların buluşma ve çatışma noktasında olan ve günümüzde de bu özelliğini koruyan Anadolu, pek çok halktan günümüze kalan kültür mirasına ev sahipliği yapmaktadır (Akova, 2012; Köse, 2020; Kaya vd., 2021c). Anadolu içerisinde bulunan kültürel mirasların kökleri eski Anadolu kültürleri (Hitit, Likya, Karya, Frig gibi), Akdeniz ve Ege kültürleri (Miken, Helen, Roma, Bizans gibi), Orta Asya, İran, Arap etkilerinden etkilenerek Selçuklu ve Osmanlı kaynaklarından oluşmaktadır. Bu zenginlik, Türkiye'yi belki de dünyada tek örnek haline getirirken, mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması için belirlenecek politika ve stratejilerin de büyük çaba göstermesini gerektirmektedir (Alptekin vd., 2019; Sarı vd., 2020; Ulvi ve Yiğit, 2020). Kültürel mirasın korunması konusundaki geçmişimize baktığımızda devlet ve toplumsal geleneklerin bu konuda şekillendiği görülmektedir. Türkiye, kültürel mirasın korunmasına ilişkin uluslararası belgelere imza atmış ve Avrupa ülkelerine benzer yasal düzenlemeler yaparak, yetkili ve sorumlu kuruluşlar kurarak devletin yapması gerekenler konusunda büyük ilerleme kaydetmiştir (Ulvi ve Yakar, 2014). Ancak bu çalışmalar kültürel mirasın korunması için yeterli değildir. Ancak, belgeleme ve koruma çalışmalarının çoğu uluslararası öneme sahip tarihi eserler üzerinde yapılmıştır. Ancak tarihin izlerini taşıyan her eser belgelenmeye değerdir (Özdemir, 2005; Yakar vd., 2009; Okuyucu ve Somuncu; 2012; Kaya vd., 2021b). Özellikle insan ve turizm açısından önem verilmeyen birçok kültürel miras eseri, korunmadığı ve özen gösterilmediği için daha fazla tahribata maruz kalmaktadır. Türk kültüründe özellikle önemli olan mezar taşları dikkate alınmadığı için hak ettiği değeri bulamamakta ve ikinci plana atılmaktadır. Ancak tarihi mezar taşları yıllar önce kurulmuş ve her zaman fiziksel, görsel ve yazılı belgeler olarak karşımıza çıkmaktadır (Avcı ve Memişoğlu, 2016; Atasoy, 2019; Memduhoğlu vd., 2020; Polat vd., 2020).

Türk milleti yüzyıllardır dünyaya hâkim olarak farklı coğrafyalarda söz sahibi olmuş, zengin bir kültür ve medeniyetin yanında hoşgörü anlayışı geliştirmiştir. Osmanlı Devleti, bu durumun en nadide örneklerini kültürümüze ve medeniyetimize kazandırarak, maddi ve manevi kültürün derin izlerini günümüze miras kalan eserlere son derece estetik bir güçle aktarmış, kültür ve medeniyetin çekim merkezine ulaşmıştır. Osmanlı devletinin bizlere bıraktığı en somut kültür ve medeniyet belgelerinden biri olan mezar taşları; Yansıttığı sanat, zarafet, ince düşünce ve toplumsal olgunluk ile geçmişten günümüze yüksek kültür, gelenek ve medeniyet anlayışının taşıyıcılığını üstlenmiş eşsiz bir kültür hazinesidir (Çetin 2019; Çorak 2020; Şenol vd., 2020).

Geçmişimizle kurduğumuz köprünün en önemli ayaklarından birini oluşturan mezar taşları ve mezarlıklar vazgeçilmez kültürel miraslarımız arasındadır. Bugün bu değerli mirası korumak, korumak ve gelecek nesillere aktarmak tüm insanlığın görevidir.

Farklı kültür ve medeniyetler Osmanlı mezar taşları ile karşılaştırıldığında Türk toplumu ölümün soğukluğunu ve ürkütücülüğünü mezar taşları ile sanata ve canlılığa dönüştürmüş ve yaşamla iç içe geçmiştir (Özkan, 2000; Ertan, 2010; Şenol vd., 2021). Bu durum Osmanlı mezarlıklarının merkezi caddelerde ve şehir merkezlerinde toplanmasına neden olmuştur. Şehir merkezlerinde kurulan tarihi mezarlıklar, birçok toplum tarafından sıklıkla kullanıldığı için daha fazla tahribata maruz kalmıştır. Dolayısıyla bu tarihi mezar ve mezar taşlarının belgelenmesi ve gelecek nesillere aktarılması bir zorunluluk haline gelmiştir (Kendir, 2020). Özellikle klasik belgelemenin aksine dijital belgeleme ile 3B belgeleme çalışmaları sonucunda elde edilen dijital arşivler görsel ve metrik anlamda daha iyi bir belgeleme aracı olmuştur. Bu noktada yüksek kalitede 3B nokta verileri toplayan Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) ile 3B model üretimi diğer belgeleme yöntemlerine göre ön plana çıkmıştır (Çelik vd., 2020; Yiğit ve Uysal, 2021).

YLT yöntemi, doğruluk, esneklik ve pratiklik özellikleri ön planda olan başarılı bir belgeleme yöntemidir (Yılmaz ve Yakar, 2008; Hamal vd., 2020). YLT verilerinden elde edilen yoğun nokta bulutları sayesinde gerçek doku ile kaplanmış 3B modellerin elde edilmesi, model üretimine görsel açıdan bir ivme kazandırmıştır. YLT yönteminin dijital belgelemede en çok kullanılan alt dalı olan YLT yöntemi, yıllardır arkeolojik ölçmeler ve tarihi eserlerin dokümantasyonu için kullanılan başarılı bir yöntemdir. Kültürel mirasın korunması ve sonraki nesillere aktarılması için yapılan belgeleme çalışmalarında YLT yöntemlerinin kullanılması, bu alanda yapılan işlere doğruluk, hız, maliyet anlamında büyük avantaj sağlamıştır.

YLT, kültürel miras dokümantasyonunda oldukça hızlı bir şekilde yolunu bulmuştur ve miras alanlarının mekânsal dokümantasyonu için bazı geleneksel yöntemlerin yerini kısmen almıştır (Kaçarlar ve Hamal, 2021). YLT verileri ile oluşturulan 3B modeller, bilgisayar ekranında görüntülediğinde ve geliştirildiğinde genellikle arkeologlar, koruma uzmanları ve mimarlar tarafından farklı çalışmalar için tekrarlanabilir bir şekilde altlık olarak kullanılabilir. Bu nedenle teknolojinin yeteneklerini ve sınırlamalarını anlamak ve bunları 3B veri kullanıcı topluluğunun ihtiyaçlarıyla ilişkilendirmek önemlidir.

Bu çalışmada yalnızca YLT tekniği uygulanmış olup tarihi mezar taşı üzerinde farklı konumlardan taramalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen taramalar sonucunda tarihi mezar taşının 3B nokta bulutu ve modeli elde edilerek dijital olarak arşivlenmesi yapılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

3D ölçümlerin havadan veya yerden çok kısa sürede yapılabilirdiği teknik gelişmelerden biri olan lazer tarama yöntemi, lokal koordinat sisteminde yoğun olarak nokta bulutları oluşturabilmektedir. Ek olarak dahili veya harici kameralar kullanılarak oluşturulan nokta bulutundaki noktalara Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) değerleri atamaktadır. Lazer tarayıcılar yerden veya bir uçağa entegre edilerek çalışabilir. Her darbenin X, Y, Z koordinatları ve RGB değerleri, nesnenin uzamsal bilgilerini sağlamak için ortak koordinat sisteminde

toplanır. Yersel lazer tarayıcı, nesnenin yoğun nokta bulutlarını hızla elde eden elektronik bir cihazdır. Bir lazer tarayıcı, lazer dikey çizgisini yansıtan merkezi olarak dönen bir prizma ile çalışır (Ebrahim 2011). Lazer ışını incelenen nesneye çarpacak ve lazer tarayıcı sensörlerine geri dönecek ve kaydedilecektir. Lazer tarayıcı, dönüş sinyalinin üç boyutlu noktaları doğru ve hassas bir şekilde hesaplar. Yersel lazer tarayıcılar, menzil ölçüm prensiplerine göre ikiye ayrılmaktadır. İlki mesafe ölçümünü faz farkının (Phase shift/faz farkı) karşılaştırılması ile gerçekleştirirken diğeri direkt olarak sinyalin YLT ile hedef nesne arasındaki uçuş zamanını (Time of flight) ölçümüyle gerçekleştirmektedir.

Bu çalışmada faz farkı prensibiyle çalışan Faro Focus 3D X330 cihazı kullanılmıştır (Şekil 1). Faz farkı ile çalışan bu cihaz sürekli yayılan ve alınan lazer ışını arasındaki faz farkı analiz edilerek mesafeler hesaplanır. Cihaz, hedef nesneye sürekli dalga (modulated continuous wave) gönderir ve hedef nesne arasında zaman farkı oluşur. Bu zaman farkı Eşitlik 1 ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte $\Delta\phi$ faz farkını, f sinüs dalgasının frekansını göstermektedir. Cihaz ile hedef obje arasındaki mesafeyi hesaplamak için ise Eşitlik 2 kullanılmaktadır.

$$\Delta t = \frac{\Delta\phi}{2\pi f} \quad (1)$$

$$\text{Mesafe} = \frac{c\Delta\phi}{4\pi f} \quad (2)$$

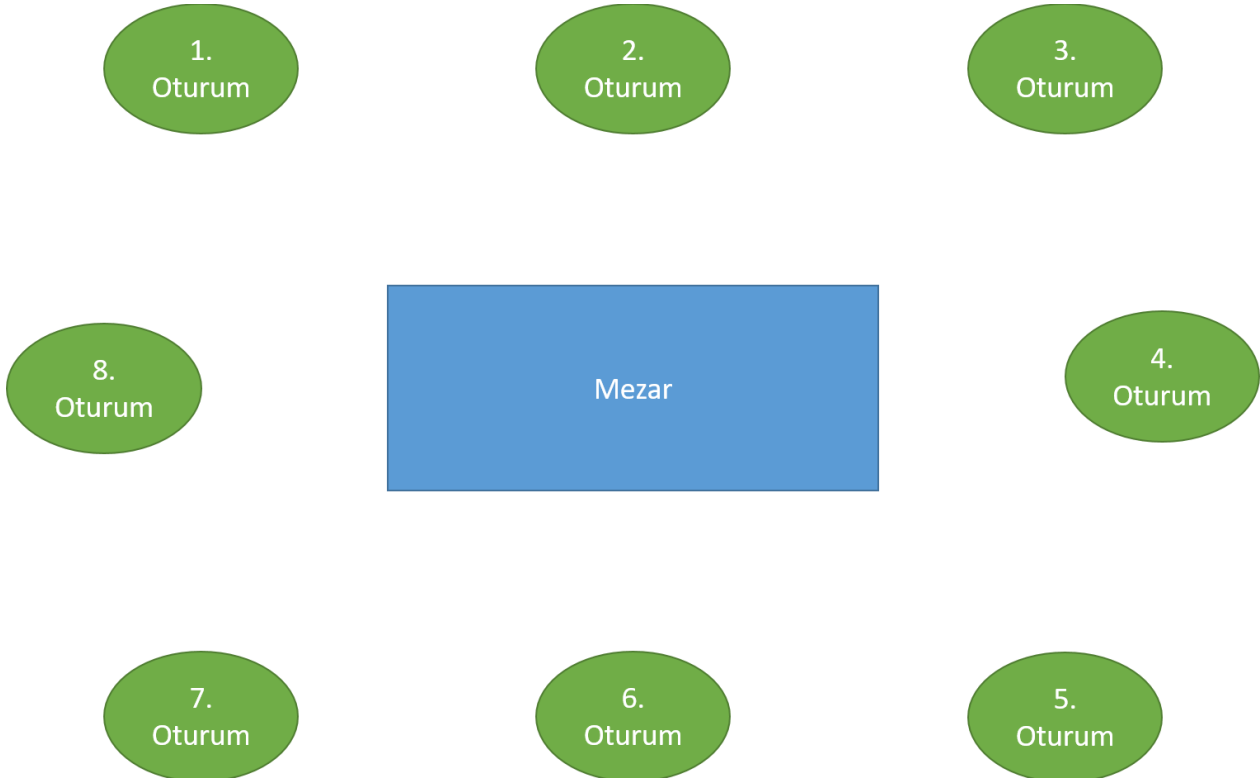
Bu lazer tarayıcı, ± 2 mm hassasiyetle 60 cm ile 330 m arasında tarama yapabilir. Saniyede 976.000 noktaya kadar veri toplama kapasitesine sahiptir. Cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Faro FocusS 350 Yersel Lazer Tarayıcısı

Tablo 1. Faro FocusS 350 özellikleri

Tarama Mesafesi	0.6 m - 350 m
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32
Kalite	2x, 3x, 4x, 6x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
İç düzlük	± 1 mm
Ağırlık	4,2 kg
Boy	230x183x103mm



Şekil 2. Yersel lazer tarama konumları

Kültürel miras değerindeki mezar taşının belgelenmesi çalışmasında ilk olarak arazi çalışması yapılmıştır. Arazi çalışmasında mezar taşının çevresine 8 adet istasyon noktası kurulmuş ve tarama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Hedef nesnenin tam ve eksiksiz verisi elde edilmesi amaçlandığından bu istasyon noktaları kurulurken aşağıdaki unsurlara dikkat edilmiştir.

Bunlar:

- Cihazın hedef nesneyi her açıdan görmesini sağlamak
- Cihaza entegreli kameranın fotoğraf çekiminde güneş ışınlarının etkisinden fotoğraflarda patlamalar olmaması için öğleden sonra tarama yapmak
- Ardışık taramalar arasında ortak alanların görülmesini sağlamak
- Gereksiz veri oluşmasını engellemek amacıyla hedef obje ile cihaz arasında mesafeyi minimize etmektir.

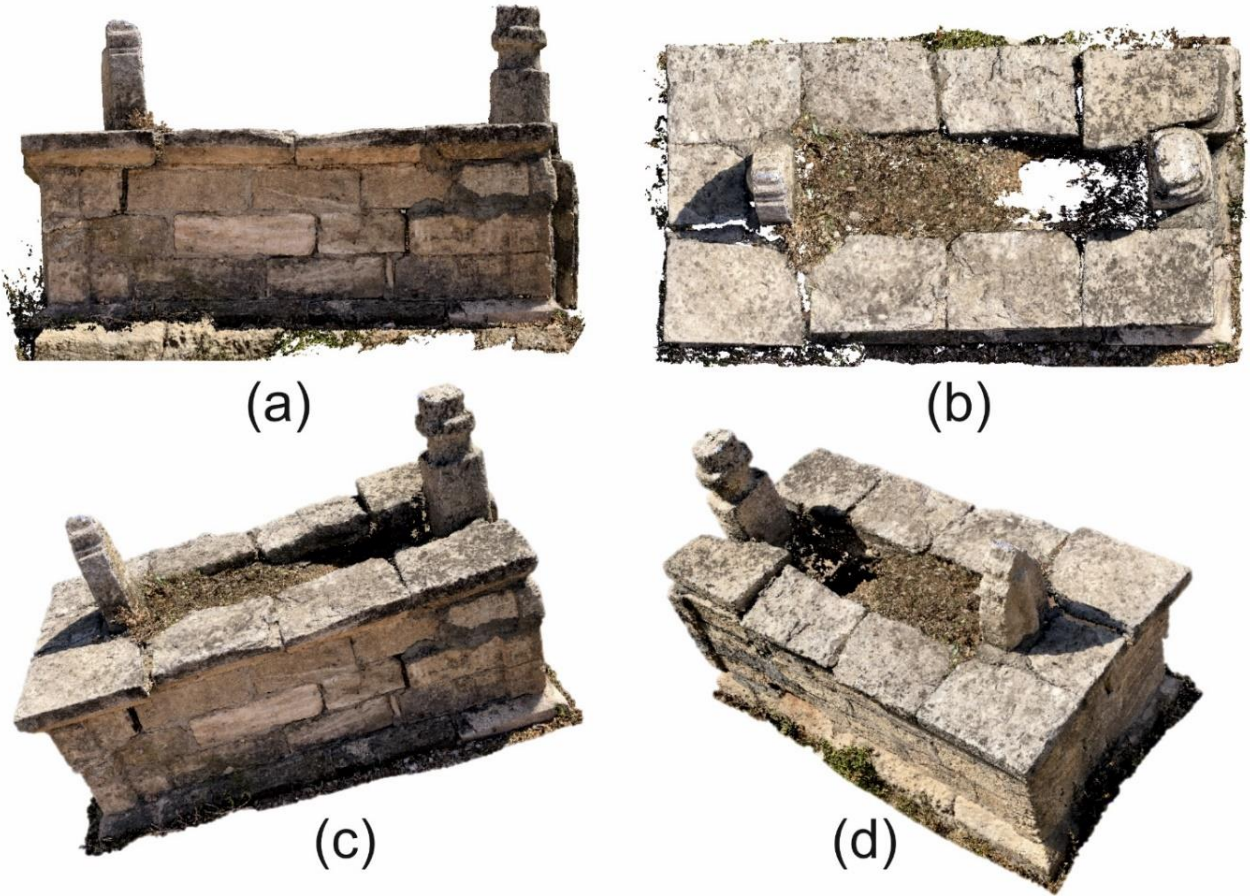
Arazi çalışması tamamlandıktan sonra toplanan verileri işleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada toplanan veriler cihazın kendi yazılımı olan Scene yazılımında işlenmiştir. Veriler nokta bulutundan nokta bulutuna (cloud to cloud) tekniği ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi ± 2.5 milimetre doğrulukla tamamlanmıştır. Nokta bulutu verisi taramaya konu eser haricinde de birçok dağınık ve gereksiz veri içermektedir. Bu ilgisiz veriler temizlenmiştir.

3. BULGULAR

Veriler 3B lazer tarama sistemi kullanılarak toplanmıştır. Mezarın verileri, saniyede 976.000 noktaya kadar yakalama kapasitesine sahip FARO Lazer tarayıcı (Şekil 1) ile gerçekleştirilmiştir. Bu tarayıcı için maksimum yakalanan menzil, yüzde 90 yansıtıcı bir yüzey üzerinde düşük ortam ışığı ile 153 metredir. Bu sistem faz farkı ölçüm prensibine dayalıdır ve 0.009 derece doğrulukla yatay yönde 360 derece ve dikey yönde 320 derece daha geniş bir görüş alanı sağlar ve tam panoramik görüntülerin toplanmasına olanak tanır. Sistemik mesafe hatası, beyazdan koyu griye yansımaya bağlı olarak 25 metrede ± 2 milimetredir.

Bu tür yapıların (mezar) tek bir istasyondan kapsanması mümkün olmadığı için, yapının tam bir 3B dokümantasyonunu oluşturmak adına farklı tarama istasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sekiz adet istasyon noktasından tarama yapılmıştır.

Bu projede tarama için 1/5 çözünürlük seçilmiştir. Beklenen tarama süresi ve dosya boyutu, seçilen çözünürlüğe, gürültü sıkıştırmasına ve tarama aralığına doğrudan bağlıdır. Çözünürlük derecesi ne kadar yüksek seçilirse tarama süresi ve dosya boyutu o kadar uzun ve büyük olur. Cihaz için maksimum tolerans sapma aralığı ± 15 dir. Bu nedenle, kaliteli veri yakalamayı sağlamak için lazer tarayıcının seviyelendirilmesi çok önemlidir. Tüm mezarın yapısını kapsayacak şekilde yakalanmış 8 tarama istasyonu bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 3. Farklı açılardan mezar taşının 3B nokta bulutu görseli; yandan görünüm (a), tepeden görünüm (b), perspektif görünüm (c) ve (d)

Çalışmada yapay hedefler kullanılmadığı için tarama cihazının konumlandırılmasında anıtın tüm ayrıntılarını kapsayacak şekilde daha iyi kapsama için uygun bir tarama istasyonunun kurulması gerekmektedir.

Objenin (mezar taşı) her açıdan tarama istasyonları kurulmasından ve ardışık taramalarda ortak alanların modelleme çalışmasında yeterli olmasından dolayı tarama sırasında doğal ya da yapay hedef işaretlere ihtiyaç duyulmamıştır.

Tarama verilerini birleştirmek için FARO Scene yazılımı kullanılmıştır (8 tarama, 38 milyon nokta). Çalışma sonundan renklendirilmiş nokta bulutlarına dayalı bir 3B görselleştirme modeli üretilmiştir (Şekil 3).

Görselleştirilmiş 3B renkli modelin kalitesi, büyük ölçüde FARO tarama cihazının sisteminin fotoğrafı cihazıyla ne kadar iyi entegre edildiğine bağlıdır. Tarihi eser görselleştirme içeriklerinde doku haritalama en çok uğraşılacak konu olmuştur. Görüntülerdeki RGB bilgisi yanlış nokta bulutlarında birleştiğinde renk detaylarının yanlış yorumlanması meydana gelmektedir. Bu durumu engellemek için güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak öğleden sonra tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Lazer tarama, kültürel miras alanlarının mekânsal belgelenmesinde önemli bir konum oluşturmıştır. Bu yöntem kısa bir arazi çalışma süresinde değerli ve doğru konumsal bilgileri toplamayı mümkün kılan güçlü bir araçtır. Kültür mirası veritabanı verilerin elde edilmesinde lazer tarama verileri önemli bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, diğer bir önemli belgeleme aracı olan fotogrametri, hem doğrudan tarayıcıya bağlı kameraları kullanarak hem de bağımsız kameralarla geleneksel yakın mesafe fotogrametrisini kullanarak hala önemli bir role sahiptir. Her iki yaklaşım da doku oluşturmaya ve özellik çıkarmaya katkıda bulunabilirken, tarayıcılar tarafından erişilmesi zor olan yüzeylerin yakalanması için yakın mesafeli fotogrametri de gereklidir. Ayrıca, veri toplama ve tarayıcı temel özellikleri kayıt, temizleme, ağ oluşturma ve boşluk doldurma ve yüzey geçirmeye kadar lazer tarama yönteminin birçok karmaşık adımda hala geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Lazer tarama yöntemi ile görsel olarak yüksek kalitede yoğun verileri elde edilebilmektedir.

Ancak kültürel mirasın belgelenmesinde bu çalışma için kullanılan YLT yönteminin dezavantajları da bulunmaktadır. Küçük alanlar için kullanıma elverişli olsa da büyük alanlarda yapılacak çalışmalarda zaman alıcı olabilmektedir. Aynı zamanda lazerle taranan modellerin ofis ortamında değerlemenin yetkin operatörlere ihtiyacı bulunmaktadır. Ayrıca harcanan çaba ve maliyet düşünüldüğünde fiyat performans açısından çalışmanın ve belgelenmek istenen objeye göre yöntemin belirlenmesi önemlidir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar olarak, bu çalışmanın verilerinin ofis kısmında işlenmesinde yardımcı olan Seda Nur Gamze Hamal'a teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akova, S. (2012). Balkan Savaşları'ndan Günümüze Batı Balkanlar ve Kültürlerarası İletişim Bağlamında Türkiye İle İlişkiler. *Motif Akademi Halkbilimi Dergisi*, 5(9), 170-201.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Turkey Lidar Journal*, 1(1), 1-4.
- Atasoy, Ö. A. (2019). Kültür ve Turizm Bakanlığı Personelinin Somut Olmayan Kültürel Mirasa İlişkin Değerlendirmeleri Üzerine Bir Çalışma. *Folklor/Edebiyat*, 25(100), 1091-1105.
- Avcı, M. & Memişoğlu, H. (2016). Kültürel Miras Eğitimine İlişkin Sosyal Bilgiler Öğretmenlerin Görüşleri. *İlkogretim Online*, 15(1).
- Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G. & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Turkey Lidar Journal*, 2(1), 15-22.
- Çetin, O. (2019). Osmanlı Mezar Taşları Etrafında Gelişen Kültür ve Medeniyet Dünyası Üzerine Bir İnceleme (Eyüp Örneği). *Anadolu Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 113-122.
- Çevik, S. (2016). Turistik Destinasyonlarda Marka Stratejileri: Eskişehir 2013 Türk Dünyası Kültür Başkenti (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Çorak, R. (Ed.). (2020). Osmanlı Mezar Taşları: Tarihi, Edebi ve Kültürel Açından, 24, DBY Yayınları.
- Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoğlu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.
- Ertan, D. A. Ş. (2010). *Bozdoğan Mezar Taşları. Sanat Tarihi Dergisi*, 19(2), 109-127.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- 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.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021a). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.

- Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021b). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021c). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 87(165), 57-72.
- Kendir, H. (2020). Mimari Restorasyonda Taşıma Yönteminin İrdelenmesi (İstanbul Örneği) (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Köse, F. (2020). Türkiye'deki oyuncak müzelerinde somut olmayan kültürel mirasa yönelik eğitim etkinliklerinin incelenmesi (Doctoral dissertation).
- Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- Okuyucu, A. & Somuncu, M. (2012). Kültürel mirasın korunması ve turizm amaçlı kullanılmasında yerel halkın algı ve tutumlarının belirlenmesi: Osmaneli ilçe merkezi örneği. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(1), 37-51.
- Özdemir, M. Z. D. (2005). Türkiye'de kültürel mirasın korunmasına kısa bir bakış. *Planlama*, 31, 20-25.
- Özkan, H. (2000). Erzincan ve Çevresinde Orta Asya Türk Geleneğini Sürdüren Bezemeli Mezar Taşları. *Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 15.
- Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- 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.
- 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.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- 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*, 6(1), 25-36.
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2020). 3D study of modelling and animation of Kayseri Gülük Mosque. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 33-37.
- 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.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., Güleç, S. A. & Korumaz, M. (2009). Advantage of digital close range photogrammetry in drawing of muqarnas in architecture.
- Yiğit, A. Y. & Uysal, M. (2021). Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.

İnternet Kaynakları

- URL 1: Hexagon Metrology. "Lazer Tarayıcılar" http://www.hexagonmetrology.com.tr/LazerTarayicilar_107.htm#.V2VI6buLRdg.
- URL 2: Mega Danışmanlık Koordinat Ölçüm Makineleri. "Kontrol Ölçme Makineleri". http://www.megadanismanlik.com.tr/koordinat_olcme_makineleri-88-hizmet.html.
- URL 3: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Chevrolet>.



© Author(s) 2022.

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



Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi

Sude Deniz Uzun^{*1}  Seda Nur Gamze Hamal²  Şafak Fidan² 

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

²Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

El tipi Lazer Tarayıcı,
Lidar,
Güzellik ve bakım,
3B Modelleme.

ÖZ

Teknolojideki gelişmeler birçok objenin 3 Boyutlu (3B) modellenerek bilgisayar ortamında kullanıcılarına sunulmasını önemli hale getirmiştir. Objelerin 3B modellenmesinin en çok kullanılan yöntemlerinden biri lazer tarama sistemleridir. Günümüzde artık elde taşınabilir lazer tarayıcılar insanoğlunun kullanımına sunulmuştur. Elde taşınabilen lazer tarayıcılar ile üretilen 3B modeller inşaat, endüstriyel üretim, adli tıp, mimarlık, güvenlik, sanal gerçeklik vb. alanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Güzellik ve bakım sektörünün önemli bir bölümünü oluşturan saç modeli, saç rengi ve makyaj alanı elde taşınabilen lazer tarayıcıların özgün kullanım alanlarından biri olabilir. Bu sektörde genelde 2 Boyutlu (2B) fotoğraf yüklemelerinden oluşan uygulamalarının yerini elde taşınabilen lazer tarayıcılar ile 3B modellenmiş insan yüzü ve vücudu alabilir. 3B modele uygun veri girişi sağlayan uygulamalar geliştirilebilir. Bu çalışmada, FARO Freestyle 3D Tarayıcının verisi kullanılarak tek bir insan yüzünün 3B modeli üretilerek güzellik ve bakım sektöründe kullanılabilirliğinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Evaluation of Use in Beauty and Care Sector by Modeling the Human Face with Hand-held Laser Scanners

Keywords

Handheld Laser Scanners,
Lidar,
Beauty and care,
3D Modeling.

ABSTRACT

Advances in technology have made it important to present many objects to users in computer environment by 3 Dimension (3D) modeling. One of the most used methods of 3D modeling of objects is laser scanning systems. Today, handheld laser scanners are available for human use. 3D models produced with handheld laser scanners can be used in construction, industrial manufacturing, forensics, architecture, security, virtual reality, etc. have been widely used in the fields. Hairstyle, hair color and make-up, which constitute an important part of the beauty and care industry, can be one of the unique areas of use of handheld laser scanners. In this sector, 3D modeled human face and body can be replaced by hand-held laser scanners, which usually consists of 2 Dimension (2D) photo uploads. Applications that provide data entry suitable for the 3D model can be developed. In this study, the advantages and disadvantages of its usability in the beauty and care industry were evaluated by producing a 3D model of a single human face using the data of FARO Freestyle 3D Scanner.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

*(sudenizuzun@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-2617-1022
(sedanurgamzeshamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(safakfidan@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9772-0968

Uzun, S. D., Hamal, S. N. G. & Fidan, Ş. (2022). Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 4(1), 17-20

Geliş Tarihi/Received: 15/06/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 23/06/2022

1. GİRİŞ

Güzellik ve bakım sektörünün en önemli alanlarından biri kuaförlük ve saç yapımı ile buna bağlı olarak saç boyası çalışmalarıdır. Kuaförlük çalışmalarında bireylerin en fazla yakındıkları konuların başında uygun yüz yapısına göre saç modeli veya tene uygun saç renginin yapılamamasıdır. Bu sorun bireylerin beğenimsiz bir saç modeli veya rengini kabul etmesi ya da yenilmesi ile sonuçlanmaktadır.

Bu sektördeki sorunun çözümü için son yıllarda bilgisayar teknolojilerinin gelişmesine koşut olarak, çeşitli bilgisayar programları, internet tabanlı ve cep telefonu merkezli uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamalar sektörde çok fazla bulunmakla birlikte genellikle telefona veya bilgisayar ortamına aktarılan fotoğraf üzerinde saç modeli ve saç rengi ile makyaj denemeleri yapılabilmektedir. Ancak bu uygulamalar sadece iki boyutta kalmakta, 3 Boyutlu (3B) yüz modellemesinde bir çalışma yürütme mümkün olmamaktadır.

Günümüzde akademik çalışmalarda veya ticari alanlarda kullanımı çok yaygın olan kamera, bilgisayar, donanım ve yazılım gibi araçlar son on yılda güzellik ve bakım sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Ancak son yıllarda yeni gelişen teknolojik araçlardan biri olan 3B lazer tarayıcılar birçok bilim ve ticari alanlarda kendine yer bulmuş olsa da güzellik ve bakım alanında kullanımı bulunmamaktadır. Lazer tarama sistemleri; doğruluk, esneklik ve pratiklik özellikleri ön planda olan başarılı bir yöntemidir. Lazer tarama sistemlerinden elde edilen yoğun nokta bulutları sayesinde gerçek doku ile kaplanmış 3B modellerin elde edilmesi, model üretimine görsel açıdan bir ivme kazandırmıştır. 3B model üzerinden kullanım amacına uygun olarak analiz, mesafe ölçümü, deformasyon gibi birçok alanlarda kullanılabilmektedir (Ernst vd., 2021. Bouillod vd., 2016; Kaya vd., 2021a).

Lazer tarama sistemleri Havadan Lazer Tarayıcılar (HLT), Yersel Lazer Tarayıcılar (YLT), Mobile Lazer Tarayıcılar (MLT) ve El Tipi Lazer Tarayıcılar (ELT) olarak sınıflandırmak mümkündür (Mukupa vd., 2017; Yakar vd., 2016; Alptekin ve Yakar, 2020; Kaçarlar ve Hamal, 2021). Günümüzde HLT ile 3B haritalama, akıllı şehir uygulamaları gibi büyük ölçekli alanların çalışmalarında, YLT ile kültürel mirasın belgelenmesi, malzeme işleme ve üretim, inşaat sektörü, tersine mühendislik, jeoloji, ulaşım gibi alanlarda, MLS ile bina içi modellemeleri ve ormancılık gibi alanlarda kullanımları yaygınken ELT ile küçük objelerin modellemesi, tıp ve yüz taraması gibi küçük ölçekli alanların çalışmalar yapılmaktadır (Hamal vd., 2020; Kapica vd., 2019; Ulvi vd., 2019; Kaya vd., 2021b).

Güzellik ve bakım sektörünün alanlarından biri olan kuaförlük uygulamalarında saç yapımı ve saç boya rengi önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Bu alanda iki boyutlu fotoğraf kullanılan uygulamalar bulunmaktadır. Ancak 3B yüz modeli kullanılarak üzerinde yapılan bir çalışma veya uygulama bulunmamaktadır.

Bu çalışmada özgün bir alan olan güzellik ve bakım sektörünün kuaförlük alanında kullanılabilecek yüz modelinin, elde taşınabilir lazer tarayıcı olan FARO Freestyle lazer tarayıcısı ile elde edilen modelin kullanılabilirliğinin değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

LIDAR, "Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini" anlamına gelen "Light Detection and Ranging" sözcüklerinin kısaltmasıdır. LIDAR, lazer darbeleri kullanarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan bir teknolojidir. LiDAR, nesnelerin görüntülenmesi için ultraviyole, görünür veya yakın kızılötesi ışık kullanır ve çeşitli hedeflerden yansıyan ışınların değerlendirilmesi ile çok yüksek çözünürlükte 3B modeller üretilebilir (Sarı vd., 2020; Yakar vd., 2009; Ulvi vd., 2020; Fidan, 2021).

2.1. FARO Freestyle 3D Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcı

FARO Freestyle3D elde taşınabilir lazer tarayıcı, üstün kaliteli, yüksek hassasiyetli, el tipi bir tarayıcıdır. Odaları, yapıları ve nesnelere hızlı ve güvenilir bir şekilde 3B olarak belgeler ve yüksek çözünürlüklü nokta bulutları oluşturur (Andersson ve Hedlund, 2016; Cheng vd., 2018; Rua, 2018; Memduhoğlu vd., 2020).

Bu tarayıcı, manuel olarak çalıştırılması ve kullanıcı tarafından hedeflenen nesneden en fazla 1 metre mesafede hedeflenmesi gereken elde taşınabilir bir lazer tarayıcıdır. Büyük alanların taramasında oldukça zaman alıcı olabileceğinden, bu cihaz ortamın daha küçük bölümlerinde veya tek bir nesnede kullanım için daha pratiktir. Bu cihaz, yüzeye yapılandırılmış bir ışık deseni yayarak çalışır ve bu daha sonra kızılötesi kameralar tarafından kaydedilir ve ölçülür. Tarayıcı tarafından toplanan veriler, tarayıcıya bağlı bir tablet bilgisayarda gerçek zamanlı olarak görüntülenir; bu, verilerin en baştan kapsamlı bir şekilde toplanmasını sağlamak için kullanışlı bir özelliktir (John ve Hadley, 2019; Fidan ve Fidan, 2021; Polat vd., 2020).



Şekil 1. FARO Freestyle3D elde taşınabilir lazer tarayıcı

Bu tarayıcı, yüksek hassasiyetle, kurulumların veya özelliklerin çeşitli perspektiflerden hızlı bir şekilde ölçülmesi gereken tüm kullanımlar için uygundur. Bunlara örnek olarak; inşaat, endüstriyel üretim, adli tıp, mimarlık, güvenlik, sanal gerçeklik vb. alanlar sayılabilir. Bir tablet bilgisayar ile birlikte koordine olarak çalışabilir

ve sezgisel veri toplamayı desteklemektedir (Andersson ve Hedlund, 2016; Şenol vd., 2020).

Elde taşınabilir lazer tarayıcılar üçgenleme yöntemi ile 3B görüntü oluşturmaktadır. Elde tutulan cihazdan taraması yapılacak objeye sensörler aracılığıyla lazer ışını göndererek çalışır ve bu ışınlar aracılığı ile tarayıcı ve hedef objenin arasındaki mesafe belirlenir. Kullanılan dâhili bir koordinat sistemi ile tarayıcının hareket halindeki aşamalarda konumu belirlenir (Macphee ve Jasra, 2017; Mukupa vd., 2017; Şenol vd., 2021).

Tarama işleminden sonra verilerin işlenmesi için cihazın kendi yazılımı olan Scene yazılımı kullanılmaktadır. FARO Freestyle 3B tarayıcı, taranan nesne ve alanlardan nokta bulutları oluşturur ve bunları bir mikro SD kartta saklar. Daha sonra mikro SD, daha fazla işlem için Scene yazılımı ile 3B model oluşturulabilir. Bu yazılım aynı zamanda kullanıcının bir nesnenin doğru bir temsiliyi tamamen yeniden oluşturmak ve aynı zamanda nesnenin ölçümlerini almak için birden fazla taramayı bir araya getirmesine olanak tanımaktadır (Unver vd., 2016; Girardet vd., 2019).

Bu tarayıcı nesnenin hassas ölçümlerini ve doğru biçimde yeniden oluşturulmasını sağlayabilir ancak renkli taramaların tam görüntüsünü yeniden oluşturması konusunda bazı sınırlamaları vardır. Tarayıcının koyu renkli nesnelere taraması biraz zaman almaktadır. Tarayıcıdaki sınırlamaları yine tarayıcıda bulunan kızılötesi özelliği kullanılarak bir miktar aşılabilmektedir (Girardet vd., 2019; Pollard, 2018).

Tablo 1.'de FARO Freestyle 3B Tarayıcının özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 1. FARO Freestyle 3D Tarayıcının özellikleri

Teknik Özellikleri	
Menzil	0.5-3m
3D nokta doğruluğu	<1.5mm
Tek görüntü nokta	0,5m mesafede 45.000 nokta - 1m mesafede 10.500 nokta (m ² 'ye)
Kaydedilmiş 3B noktalar	88.000 nokta/saniyeye kadar
Tipik Gürültü	0,5 m mesafede 0,7 mm
Göz güvenliği	1.Sınıf lazer
Aydınlatma koşulları	10000 lükse kadar
Işık kaynağı	Dâhili led flaş
Hacim verilerini tarama	8.1 m3
Boyutlar	260 x 310 x 105 mm
Bağlantı	USB 3.0
Ağırlık	0,98Kg
IP	IP 5x

3. UYGULAMA

Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenmesinde çalışmada FARO Freestyle3D lazer tarayıcı kullanılmıştır.

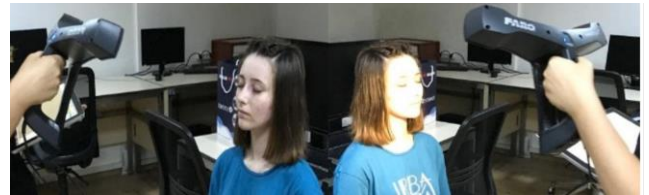
3.1. Veri toplama

Veri toplama aşamasında ilk olarak FARO Freestyle3D lazer tarayıcının kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işleminde, lazer tarayıcı kalibrasyon plakası üzerinde 0.70 metreden 1.50 metreye kadar farklı yükseklik aralıklarında plakayı algılaması sağlanarak kalibre edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. FARO Freestyle 3D Tarayıcı kalibrasyon işlemi

Kalibrasyon işleminden sonra hedef yüzün tarama işlemi yapılmıştır. Çalışmada lazer tarayıcının yüzü algılayabilmesi için yüz ile operatör arasında en az 70 cm en fazlada 1m olmasına dikkat edilmiştir. Aynı zamanda modelin sağlıklı ve eksiksiz olması için Tarama esnasında yüzün her açıdan taramasını sağlayabilmek adına 360° çevresinde dönülmüştür. Ayrıca tarama yapılan alanın loş veya fazla ışıkta olmamasına dikkat edilmiştir (Şekil 3).



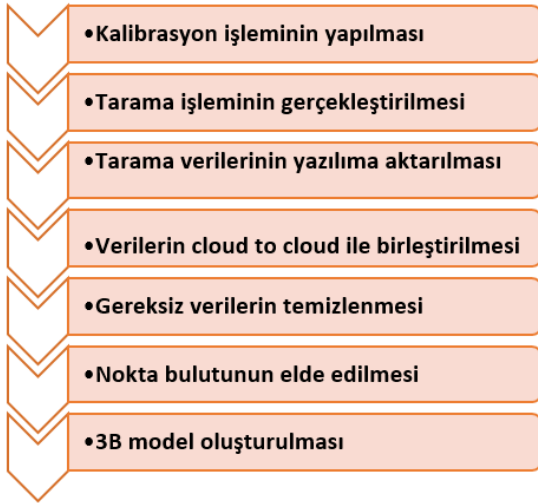
Şekil 3. Tarama işleminin gerçekleştirilmesi

3.2. Veri İşleme

FARO Freestyle 3B lazer tarayıcının kendi yazılımı olan Scene yazılımı kullanılmaktadır.

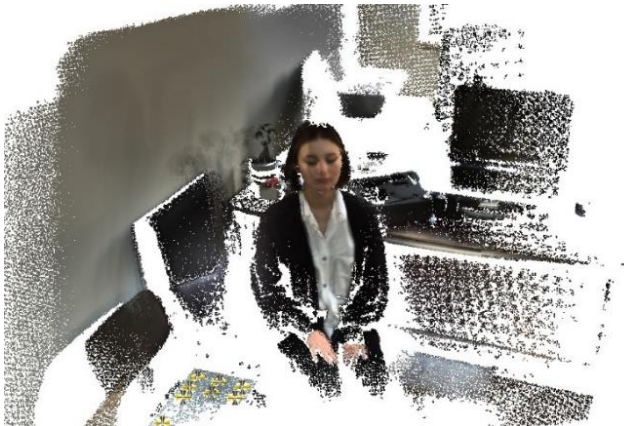
Taramalar sonucunda elde edilen veriler yazılıma aktarılmış ve ardından veri işleme (process) aşamasına geçilmiştir. Taramalar nokta bulutundan nokta bulutuna (cloud to cloud) tekniği ile birleştirilip 13,256,154 adet nokta bulutu üretilmiştir. Nokta bulutu verisi üzerinden dağınık ve gereksiz veriler temizlenmiştir. Ardından yüzün 3B modeli üretilmiştir.

Genel olarak uygulamada FARO Freestyle3D elde taşınabilen lazer tarayıcı ile veri toplama ve işleme adımlarını şekil 4'de bir iş akış diyagramında gösterilmiştir.



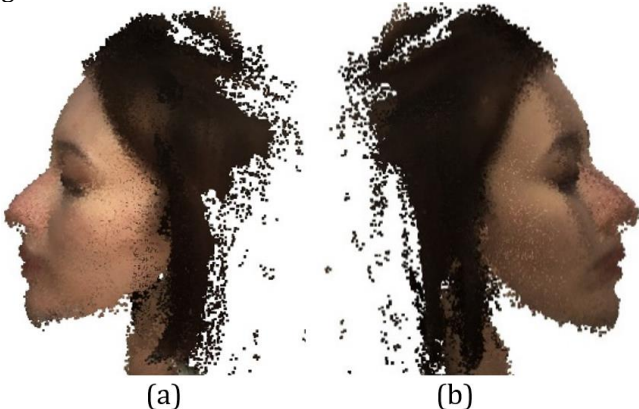
Şekil 4. Verinin toplanması ve işlenmesi iş akışı

Tarama verilerinin işlenmesi aşamaları tamamlandıktan sonra insan yüzü ve vücudunun nokta bulutu ve katı modeli oluşturulmuştur. Şekil 5'te oluşturulan nokta bulutu verisi gösterilmiştir.

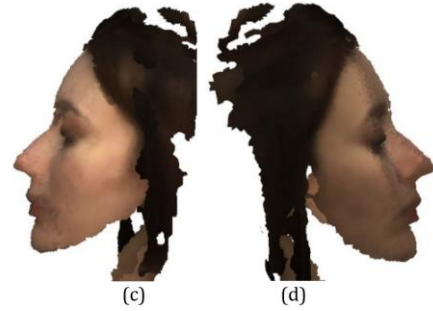


Şekil 5. FARO Freestyle 3B Tarayıcı ile Oluşturulan Nokta Bulutu Modeli

Bu çalışmanın konusu olan yüzün 3B modellemesi için sadece yüz için nokta bulutu verileri elde edilmiştir. Yüzün nokta bulutu (Şekil 6) ve 3B modeli (Şekil 7) görülmektedir.



Şekil 6. Yüzün nokta bulutu görseli; soldan (a), sağdan (b)



Şekil 7. Yüzün 3B modeli görseli; soldan (c), sağdan (d)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen bu görüntü, makalede açıklanan ve sıklıkla tercih edilen düzenleme uygulamalarının geliştirilmesiyle 3B veri olarak aktarılıp güzellik ve bakım sektöründe de kullanılabilir. Programa aktarılan 3B verinin üzerinde yüz hatlarına uyabilecek saç modelleri denenerek kişinin yüz şekline uygun saç modeli gerçeğine en yakın biçimde görülmüş olur. Aynı zamanda yüklenen 3B veri üzerine farklı tarzlarda makyajlar kişinin kendi istediği gibi yapılarak kendisi üzerinde nasıl duracağı programdaki modelinden görülebilir.

Güzellik ve bakım sektörünün bir alanı olan kuaförlük kısmında 2B fotoğraf yüklemelerinden oluşan uygulamalarının yerini elde taşınabilen lazer tarayıcılar ile 3B modellenmiş insan yüzü ve vücudu alabilir.

Tüm bu bilgiler birleştirilecek olursa, el tipi lazer tarayıcılar ile 3B modellenen insan yüzü ve vücudu sıklıkla kullanılan güzellik ve bakım düzenleme programlarının geliştirilmesi ve 3B veri girişine izin vermesi sonucunda sektörde özgün olarak kullanılabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Andersson, J., & Hedlund, P. (2016). Undersökning om handhållna laserskannrar vid detaljmätning: En jämförelse mellan multistationen Leica Nova MS50 och den handhållna laserskannern FARO Freestyle X.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Türkiye LİDAR Dergisi*, 2(1), 1-4.
- Bouillod, A., Oggiano, L., Soto-Romero, G., Brunet, E., & Grappe, F. (2016). Preliminary study: A new method to assess the effective frontal area of cyclists. In 4th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (IcSPORTS).

- 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.
- Ernst, F., Şenol, H. İ. , Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3) , 150-160.
- 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. DOI: 10.51946/melid.1021819
- 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.
- Girardet, V., Grussenmeyer, P., Reis, O., Kieffer, J., Guillemin, S. & Moisan, E. (2019). 3D indoor documentation of the winter garden in the earthenware museum at sarreguemines (France). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 527-532.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- John, D. and Hadley, G. J. M. (2019). Are Photogrammetry and 3D Scanning a real alternative to 3D modelling for Virtual Heritage applications?. In: *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology UK (CAA-UK 2019)*, 4-5 October 2019, Bournemouth, UK.
- 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.
- Kapica, R., Vrublová, D. & Mučková, J. (2019). 3D documentation and visualization of the listed objects in areas affected by mining activities. In *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2019* (pp. 3-10).
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021a). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021b). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Macphee, M. & Jasra, P. (2017). Evaluation of the Capabilities and Limitations of the FARO Freestyle 3D Handheld Scanner. *Journal of Emerging Forensic Sciences Research*, 2(1), 75-80.
- Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- Mukupa, W., Roberts, G. W., Hancock, C. M. & Al-Manasir, K. (2017). A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures. *Survey review*, 49(353), 99-116.
- Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- Pollard, A. (2018). A multispectral imaging and 3D modelling project on the Arundel Marbles. *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims*, 14-163.
- Rua, J. (2018). Exploration of FARO freestyle 3D laser scanners as a method for estimating surface fuel loading for wildland fire management (Doctoral dissertation, Rutgers University-School of Graduate Studies).
- 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.
- 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.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- 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.
- 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.
- Unver, E., Taylor, A. & Ball, A. (2016). Comparative Analysis of Mobile 3D Scanning Technologies for Design, Manufacture of Interior and Exterior Tensile Material Structures and Canvasman Ltd. Case Study. *Technical Report. CANVASMEN, Otley, West Yorkshire*.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Murat Yılmaz, H., Armagan Gulec, S. & Korumaz, M. (2009). Advantage of Digital Close Range Photogrammetry in Drawing of Muqarnas in Architecture. *Inf. Technol. J.* 8, 202-207




© Author(s) 2022.

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



Yersel lazer tarayıcıların tarama çözünürlüğü üzerine bir araştırma: Bina içi örneği

Ceyda Ulvi*¹ 

¹Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel Lazer Tarama,
Çözünürlük,
Kalite,
3B Model.

ÖZ

Yersel lazer tarama (YLT) yöntemi, mekânsal verilerin toplanması için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Bu yöntem ile nesnelerin hızlı, temassız ve hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanır. Yersel lazer tarama sistemleri, 3 boyutlu (3B) koordinatları ve onu bir yoğunluk değeri olarak kaydeden her noktanın geri saçılan lazer tarama sinyalinin gücünün göstergesidir. Yoğunluk değerleri, ölçülen nesnenin özelliği ve ortamın parametrelerine göre değişim göstermektedir. Geri saçılan elektromanyetik sinyalin gücü, taranan nesne yüzeyinin yansıtıcılığından, geliş açısından, lazer tarayıcı ile nesne arasındaki mesafeden ve YLT ölçümünün sırasıyla atmosferik ve sisteme özgü ayarından etkilenir. Sinyalin sistem içi değişimiyle ilgili ayrıntılar genellikle kullanıcı tarafından bilinmediğinden, modele dayalı yaklaşımlar pratik değildir. Bu çalışmada farklı tarama seçenekleri kullanarak elde edilen nokta bulutu verilerinin farklı birleştirme yöntemleriyle birleştirilmesi ve bu verilerin veri kalitesi incelenmiştir.

A research on the scanning resolution of Terrestrial Laser Scanners: An indoor example

Keywords

Terrestrial Laser Scanning,
Resolution,
Quality,
3D Modeli.

ABSTRACT

Terrestrial laser scanning (TLS) method is a powerful method used for the collection of spatial data. With this method, fast, contactless and precise measurement of objects is ensured. Terrestrial laser scanning systems display the strength of the backscattered laser scanning signal of each point recording the 3D (3D) coordinates and an intensity value. Density values vary according to the characteristics of the measured object and the parameters of the environment. The strength of the backscattered electromagnetic signal is affected by the reflectivity of the scanned object surface, the angle of incidence, the distance between the laser scanner and the object, and the atmospheric and system-specific setting of the TLS measurement, respectively. Model-based approaches are impractical, as the details of the inter-system variation of the signal are often unknown to the user. In this study, the combination of point cloud data obtained by using different scanning options with different aggregation methods and the data quality of these data were examined.

1. GİRİŞ

Yersel Lazer Tarama (YLT), dünya nesnelarini ölçmek, deformasyonları izlemek, üç boyutlu uzaysal modeller oluşturmak ve yer bilimindeki diğer sorunları çözmek için kullanılabilir yüksek hassasiyetli ve yoğun nokta bulutları sağlamanın en etkili yöntemlerinden biridir (Shan ve Toth, 2018; Ulvi vd., 2020; Hamal vd., 2020). Bu uzaktan algılama yöntemi, nesneların hızlı, temassız hassas bir şekilde ölçülmesine olanak tanır ayrıca nesne hakkında bilgilerin bir nokta bulutu olarak alınmasını sağlar ve böylelikle doğruluğu artırmaktadır (Soudarissanane, 2016; Ulvi vd., 2019; Yakar vd., 2016). YLT, uçuş süresi veya faz tabanlı mesafe ölçüm ilkelerini kullanarak çevresinin yoğun 3B nokta bulutlarını üreten, yer tabanlı bir 3B gerçeklik yakalama teknolojisidir. Nokta bulutları, nokta başına renk veya yoğunluk bilgisi gibi ek veriler veya destek görüntüleri ile birlikte gelir, böylelikle kullanıcının ham nokta bulutunu daha iyi görselleştirmesine yardımcı olur (Yakar vd., 2009; Sarı vd., 2020; Kaya vd., 2021a).

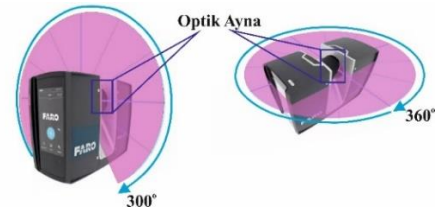
Lazer tarayıcı sistemler 3 boyutlu görselleştirme, sanal gerçeklik, madencilik, ormancılık, tıbbi görüntüleme, şehir modellenmesi, arkeoloji, mimarlık, kültür varlıklarının sayısal belgelenmesi vb. alanlarda kullanılmaktadır (Fidan, 2021). 3 boyutlu lazer tarayıcılar eğik mesafe ile birlikte yatayda ve düşeyde de nokta bulutlarını hedefe göndererek lazer ışınıyla seçilebilir bir grid (karelere bölmek) yoğunluğuna göre tarayıp, kısa sürede binlerce 3 boyutlu vektör oluşturmaktadır. Taranan nesnelar 3 boyutlu uzayda büyük bir grid formunda gösterilmektedir. Bu nedenden dolayı lazer tarayıcılara 1:1 sayısallaştırıcı cihazlar da denilmektedir (Hepçörük, 2015; Memduhoğlu vd., 2020). Son yirmi yıldır YLT, lazer tarayıcıların performansında sürekli gelişme ile birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır. Özellikle son on yılda umut verici bir teknik olduğu kanıtlanmış olan YLT'nin potansiyel uygulamasını doğrulamak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Konu ile alakalı bazı inceleme makaleleri yayınlanmıştır. Tang vd. (2010), tarama sonucunda elde edilen nokta bulutlarından bina bilgi modelleri için otomatik yeniden yapılandırma tekniklerini araştırmıştır. Mukupa vd. (2017), değişiklik tespiti ve deformasyon izleme dâhil olmak üzere yapıların izlenmesinde YLT uygulamasını incelemiştir. Cheng vd. (2018), veri toplama ve işleme tekniklerinin tartışılmasına odaklanarak, nokta bulutlarından 3B Model üretiminde mevcut çeşitli yöntemleri özetlemiştir. Dong vd. (2020), nokta bulutu üretiminde yapılan taramalardan birleştirme yöntemlerinin geliştirilmesini desteklemek için nokta bulutu birleştirme yöntemlerinin kapsamlı bir incelemesini ve büyük ölçekli bir kıyaslama veri kümesini sağlamışlardır. Ölçüm yapan tarayıcının veri kalitesinin iyi olması ölçüm sonucunda beklenen kaliteyi ve doğruluğu karşılaması anlamına gelmemektedir. Çünkü tarayıcılarda farklı tarama seçeneği bulunmaktadır. Bu seçenekler tarama yapılacak ortama göre seçilmezse tarama sonucu elde edilen verilerin beklentinin altında kalma ihtimali vardır. Bu makalede de Faro focusS 350 lazer tarayıcısının 3 farklı tarama seçeneği bina içi modellemesinde karşılaştırılmış olup sonuçlar irdelenmiştir.

2. METARYAL ve YÖNTEM

YLT, bir yüzeyin LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi kullanılarak örneklendiği veya tarandığı bir yöntemdir. Lazer tarama cihazı ile nesne arasındaki mesafe, lazer ışını olarak ifade edilen bir optik kaynak vasıtasıyla belirlenebilir. Lazer tarayıcılar, tarama mekanizması olarak da bilinen optik aynalar aracılığıyla lazer ışını yatay ve dikey yönlerde yönlendirilerek ilgili nesneyi veya yüzeyi tarama yapmaktadır (Zheng ve Moskal, 2012; Ernst vd., 2021; Şekil 1).

Bir lazer tarayıcının lazer ışını dikey veya yatay yönlerde saptırma kapasitesi, teknik verilerinde görüş açısı olarak verilmektedir. Bir nesnenin 3 boyutlu modelini oluşturmak için, çeşitli görüş açlarına sahip birden fazla tarama istasyonu kullanmak gerekir. Aynı zamanda kullanılan lazer tarayıcının görüş kapasitesine göre de tarama istasyon sayısı değişmektedir. Çalışmada kullanılan lazer tarayıcı dikey yönde 300° yatay yönde ise 360° tarama yapabilmektedir (Şekil 1).

Tarama sonucunda elde edilen çıktı, ürünün ölçüm mesafesine göre değişen milyonlarca noktadan oluşan bir nokta bulutudur. Lazer tarama teknolojisiyle toplanan veriler, çeşitli uygulamalar için yararlı olan sayısal, iki boyutlu çizimler veya üç boyutlu modeller oluşturmak için kullanılabilir (Alptekin vd., 2019; Fidan ve Fidan, 2021; Kaya vd., 2021b; Błaszczuk vd., 2022).



Şekil 1. Faro Focus Lazer tarayıcı

Yersel lazer tarayıcılar, menzil ölçüm prensiplerine göre ikiye ayrılmaktadır. İlki mesafe ölçümünü faz farkının (Phase shift/faz farkı) karşılaştırılması ile gerçekleştirirken diğeri direkt olarak sinyalin YLT ile hedef nesne arasındaki uçuş zamanını (Time of flight) ölçümüyle gerçekleştirmektedir (Giuffrida vd., 2022; Gharebaghi vd., 2022; Voegtler vd., 2008).

Faz farkı tarayıcılarda, sürekli yayılan ve alınan lazer ışını arasındaki faz kayması analiz edilerek mesafeler hesaplanır (Polat vd., 2020; Şenol vd., 2020). Her yön için yalnızca bir dönüş kaydedilir. Bu tür tarayıcılar, çok geniş görüş alanı, çok yüksek sayıda nokta bulutu elde etme imkânı sağlar. Ölçüm mesafeleri nedeniyle, faz kayması tabanlı tarayıcılar, nispeten yakın sahnelerin (350 m'ye kadar) yüksek hassasiyet ve ayrıntılı ölçümleri için çok uygundur. Bu tarayıcılar genellikle görünür dalga boylarını (600 ila 800 nm) kullanır. Çalışmada kullanılan lazer tarayıcı faz farkı karşılaştırması tekniğiyle çalışmaktadır. Time of Flight tekniği, bir lazer darbesinin emisyonu ile alınması arasındaki sürenin ikiye bölünerek hesaplanmasına dayanır. Bu özellikler, çok uzun ölçüm mesafelerine ancak nispeten düşük alım hızlarına izin verir. Bu tür lazer tarayıcı genellikle yakın kızılötesi dalga boylarını (900 ila 1500 nm) kullanır ve daha büyük mesafelerde (350 m'nin ötesinde) sahnelerin 3B yeniden yapılandırılması için çok uygundur.

3. UYGULAMA

YLT sistemi ile veri toplama işleminde seçilen her bir istasyon noktasında tarama alanları için belirlenen parametre ayarlarını planlamak çeşitlilik göstermektedir. Ancak, inşaat sahaları karmaşık ve sürekli değişen ortamlardır, bu da deneyimli operatörler için bile elde edilen nokta bulutlarının tüm tarama hedeflerini belirtilen kalite seviyelerinde tam tarama kapsamını garanti edemez (Thomson vd., 2013). Değişen teknik performanslar sunması ve bir alandaki tüm tarama hedeflerinin (örn. nesnelere) farklı veri kalitesi gereksinimlerine sahip olabilmesi gerçeğiyle karmaşıklık daha da artmaktadır. Düzgün geometriye sahip olanların taranmasında kullanılan parametre değerleri basit anlaşılır olurken arkeolojik alanlarda, kültürel miras yapılarında, ormanlık gibi düzgün geometriye sahip olmayan alanlarda kullanılması gereken parametreleri bulmak zordur (Kaçarlar ve Hamal, 2021; Çalışır K.,2021; Şenol vd., 2021).

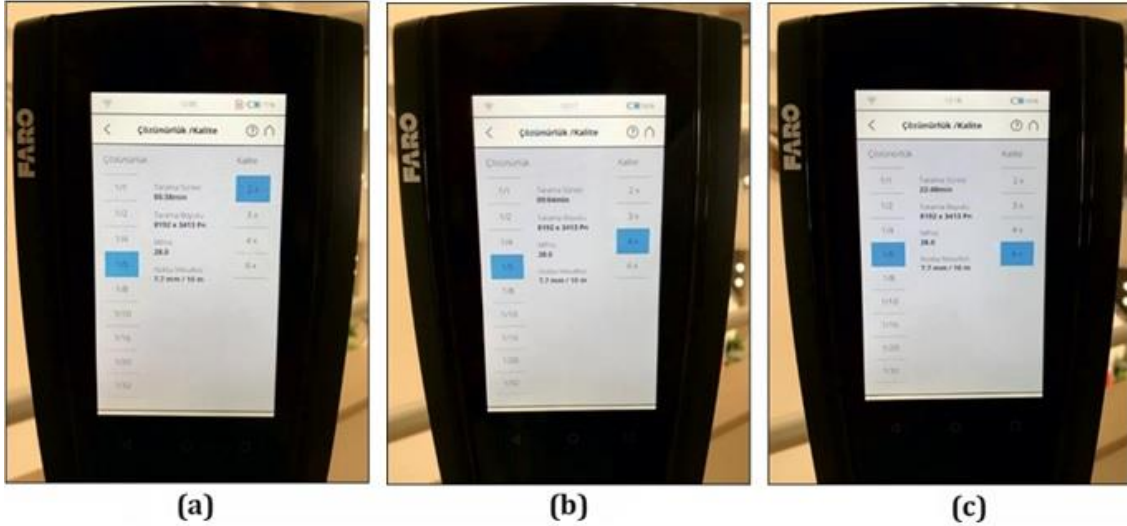
Çalışma kapsamındaki belgeleme çalışmalarında GPS donanımına sahip, taşınması ve kullanımı kolay olan

FARO FocusS 350 lazer tarayıcı tercih edilmiştir. FARO Focus S350 yersel lazer tarayıcı başlıca özellikleri aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Faro FocusS 350 özellikleri

Tarama Mesafesi	0.6 m - 350 m
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32
Kalite	2x, 3x, 4x, 6x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
İç düzlük	±2 mm
Ağırlık	4,2 kg
Boy	230x183x103mm

Çalışmada üç farklı tarama çözünürlüğü seçilmiştir (Şekil 2). Her tarama çözünürlüğünde iki farklı oturum yapılmıştır. Bu oturumlar hem Cloud to Cloud (C2C) yöntemi hem de target yöntemi (hedef işaretleri yardımıyla) ile birleştirilmiştir. Tarama anında seçilen parametreler Şekil 2 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çözünürlük 1/5x-Kalite 2x (a), Çözünürlük 1/5x-Kalite 4x (b), Çözünürlük 1/5x-Kalite 6x (c)

Tablo 2. Faro Focus cihazı çözünürlük ve kalite detayları

Çözünürlük	Kalite	Tarama Süresi(Dk)	Tarama Boyutu	MPns	Nokta Mesafesi
1/5	2x	05.38	8192x3413 Pn	28.0	7.7mm/10 m
1/5	4x	09.04	8192x3413 Pn	28.0	7.7mm/10 m
1/5	6x	22.48	8192x3413 Pn	28.0	7.7mm/10 m

4. BULGULAR

Lazer tarama ile toplanan verilerden sadece kalite değerleri değiştirilerek ikişer oturumdan toplamda 6 adet oturum yapılmıştır. Bu toplanan veriler Faro Focus cihazının kendi yazılımı olan Scene yazılımında hem C2C hem de target yöntemiyle birleştirilmiştir (Tablo 3). C2C birleştirme değerleri irdelendiğinde 1/5-2x ile elde edilen verinin diğerlerine oranlarına en fazla hata ile birleştiği ve aynı zamanda ardışık iki tarama verisinde ortak alan olarak bindirme (overlap) yüzdelere en az yüzdeye sahip 1/5-2x ile elde edilen veri olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde target ile birleştirme sonucu

irdelendiğinde; C2C birleştirme sonucundaki gibi “1/5-2x” ile elde edilen veri diğerlerine göre en fazla hata ile birleştirilmiştir. Bu iki tür birleştirme yönteminden elde edilen sonuçlar doğrultusunda kalite değerlerinin birleştirme sonucu oluşan hataları etkilediği görülmektedir.

YLT sistemlerinde kalite değerleri oluşturulan nokta bulutlarına atanan RGB değerlerinin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Şekil 3 incelendiğinde üç farklı tarama verisinden elde edilen ortofoto görüntüsü verilmiştir. Şekil 3 detaylı incelendiğinde hedef işaretlerinin çözünürlüğü ve kalitesi gerçeğe en yakın olan 1/5-6x ile elde edilen veri olmakla birlikte kalite değeri düşüktüçe

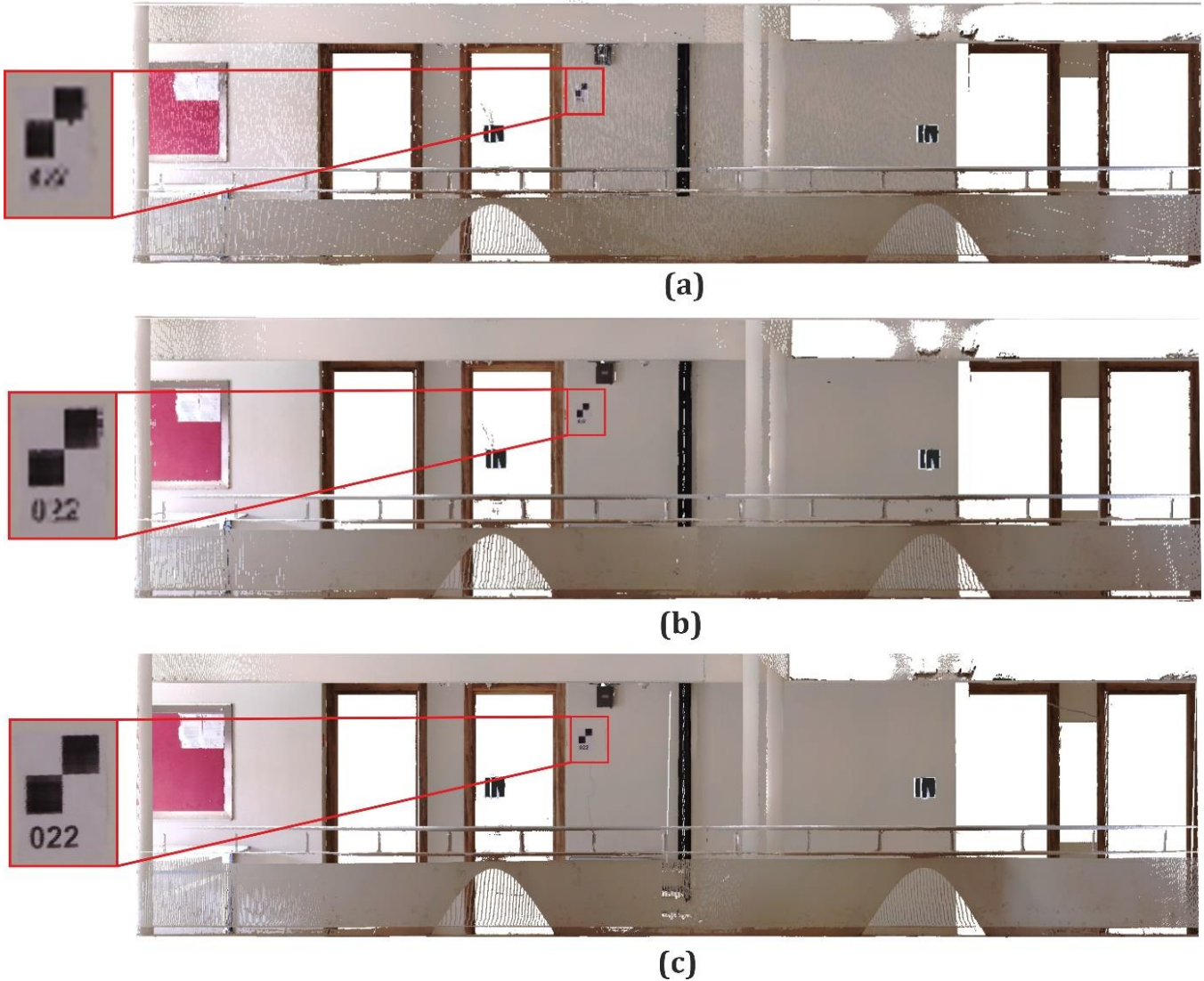
hedef işaretinin çözünürlüğü ve kalitesi de aynı oranda düşmüştür.

Tarama yapılan alan düzgün geometriye sahip bir alandır. Ancak her ne kadar düzgün bir geometriye sahip olmuş olsa da Şekil 3'de de görüldüğü gibi kalite değerleri değiştikçe çözünürlük değerleri de doğrudan etkilenmiştir. Şekil 3 (a) verisi incelendiğinde bu veriden elde edilen çıktı ürünle mimari alanlarda, rölöve çizim projelerinde kullanılırken bu veriyi oluşturulan parametreler kullanılarak üretilen 3B modeller arkeolojik alanlarda, ormancılık çalışmalarında yani yüksek hassasiyet içeren çalışmalarda kullanılması uygun değildir. Şekil 3 (b) incelendiğinde tarama çözünürlüğünün Şekil 3(a) dan daha iyi fakat Şekil 3(c) den daha kötü olduğu anlaşılmaktadır. Burada tarama

süresi 19 dk civarındadır. Şekil 3 (c) incelendiğinde ise çalışma sonucunda elde edilen bu verilerin röleve restorasyon çalışmalarında kullanılabileceği öngörülmektedir. Ancak her taramanın 22 dk olması ve sadece 2 taramadan 44dk'lık zaman harcanırken Şekil 3 (a) verisinden iki oturumda toplam 10 dk'lık zaman harcanmıştır. Sadece 2 oturumluk çalışmada 34 dk zaman farkı bulunmaktadır. Bu çalışma geniş ölçüde daha büyük alanlar için uygulandığında aradaki tarama farkı günler hatta haftalar alabilir. Bu nedenle taraması yapılacak alanların amaca uygun uygun taraması, tarama sonucunda zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesi gerektiği savunulmaktadır.

Tablo 3. Birleştirme sonucu oluşan hata değerleri

Çözünürlük/Kalite	C2C (mm)/Overlap (%)	Target (mm)
1/5-2x	0.7/75.4	2.6
1/5-4x	0.5/76.2	1.7
1/5-6x	0.4/77.1	1.2



Şekil 3. Çözünürlük 1/5x-Kalite 2x (a), Çözünürlük 1/5x-Kalite 4x (b), Çözünürlük 1/5x-Kalite 6x (c)

5. SONUÇLAR

Şekil 3a daki üretilen modelde nokta sıklığının az olduğu ve üçgenleme yapılamayan yerlerde boşluklar ve bozuk üçgenler olduğu gözlemlenmiştir. Hedef nesneyi tam olarak modelleyebilmek için bu bozulmaların düzeltilmesi gerekmektedir. Bu bozulmalar düzeltilebilmesi için 3B modelleme programları otomatik ve manuel algoritmalar geliştirmişlerdir. Küçük çaplı bozulmaların düzeltilmesi için otomatik algoritmalar yeterli olmaktadır. Fakat büyük bozulmalar kullanıcı tarafından manuel olarak düzeltilmelidir.

Bina içi detaylı ölçüm isteniyorsa çalışmada kullanılan tarama cihazının tarama seçeneklerinde çözünürlük 1/5x-Kalite 6x seçeneği minimum tercih edilmesi gereken çözünürlük olmalıdır. Nokta bulutlarının birleştirilmesinde daha hassas sonuçlar isteniyorsa C2C yöntemi tercih edilmelidir.

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., 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.
- Błaszczczyk, M., Laska, M., Sivertsen, A. & Jawak, S. D. (2022). Combined use of aerial photogrammetry and terrestrial laser scanning for detecting geomorphological changes in Hornsund, Svalbard. *Remote Sensing*, 14(3), 601.
- Çalışır, K. (2021). Tarihi Yapıların 3 Boyutlu Belgeleme Sürecinde Nokta Bulutu Yönteminin Rolü: Yaylak Ulu Camii Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6 (3), 212-219.
- 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.
- Dong, Z., Liang, F., Yang, B., Xu, Y., Zang, Y., Li, J. & Stilla, U. (2020). Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163, 327-342.
- Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.
- 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. DOI: 10.51946/melid.1021819
- 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.
- Gharebaghi, A., Abolfazl Mostafavi, M., Larouche, C., Esmaeili, K. & Genon, M. (2022). Precise indoor localization and mapping using mobile laser scanners: A scoping review. *Geomatica*, 1-13.
- Giuffrida, D., Nardo, V. M., Neri, D., Cucinotta, G., Calabrò, I. V., Pace, L. & Ponterio, R. C. (2022). Terrestrial laser scanning for the modelling of indoor archaeological areas: two case-studies from Reggio Calabria, Italy. *In Journal of Physics: Conference Series*, 2204(1), p. 012075.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- Hepyörük, G. (2015). Tarihi Ve Kültürel Varlıkların Belgelendirilmesi ve Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulmasında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması ve Karacabey Türbesi (Ankara) Örneği, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Konya, 2015.
- 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.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2021a). Arkeolojik kalıntıların belgeleneşinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021b). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelemesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- Mukupa, W., Roberts, G. W., Hancock, C. M. & Al-Manasir, K. (2017). A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures. *Survey review*, 49(353), 99-116.
- Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- 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.
- 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.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R. & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in construction*, 19(7), 829-843.
- Thomson C., Apostolopoulos G., Backes, D., Boehm J. (2013). Mobile laser scanning for indoor modelling. *Proceedings of ISPRS Annals II-5 W, 2*, 289-293.
- 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.
- Voegtle, T., Schwab, I. & Landes, T. (2008). Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS). *In Proc. of the XXI Congress, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS2008*, 37, 1061-1066.

- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yaşar, F. (2013). Arkeolojide Kullanılan Çizim Teknikleri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, (Bitirme Tezi), Kütahya.
- Zheng, G. & Moskal, L. M. (2012). Leaf orientation retrieval from terrestrial laser scanning (TLS) data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(10), 3970-3979.

İnternet Kaynakları

- URL-1. <https://paksoyteknik.com.tr/paksoy-topcon/lazer-tarama/faro.html>(Erişim tarihi.12.05.2022)



© Author(s) 2022.

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



Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması

Davut Balcı*¹

¹İller Bankası Gaziantep Bölge Müdürlüğü, Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Lidar,
Fotogrametri,
Kültürel Miras,
Lazer Tarayıcılar,
Belgeleme.

ÖZ

Somut ya da soyut kültürel miraslar bir kez yok edildiğinde bir daha yerine yenisi getirilemez olduğundan dolayı sürdürülebilir kılınması, korunması ve belgelenmesi gerekmektedir. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olduğu için ve jeopolitik olarak her asırda önemini koruduğu için birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır bundan dolayı ülkemizde pek çok soyut ve somut kültürel miras bulunmaktadır. Ülkemizde sayıca fazla olan kültürel mirasların belgelenmesi için hızlı ve doğruluğu yüksek tekniklerin kullanılmasında fayda görülmektedir. Geçmişte ve günümüzde kültürel mirasların belgelenmesi (dokümantasyonu) hakkında farklı teknikler uygulanmıştır. Bu teknikleri geleneksel ve teknolojik olarak ikiye ayırabiliriz. Geleneksel teknikler hasarlı ya da hassas detay ölçümlerinde yetersiz kalmakla beraber düşük hassasiyeti ve yavaşlığı nedeniyle terkedilmeye başlanmıştır. Günümüzde geleneksel belgeleme tekniklerinin yerini hızlı, optimal maliyetli, yüksek doğruluk ve hassasiyetli olan teknolojik belgeleme teknikleri almıştır. Teknolojik belgeleme tekniklerinden bazıları; total station, GNSS, lidar, fotogrametri ve lazer tarama tekniğidir. Bu çalışmada kültürel mirasın tanımı ve önemi anlatılmakla birlikte geleneksel yöntem ile teknolojik yöntemlerden söz edilerek kıyaslanması; teknolojik yöntemlerden biri olan lazer tarama tekniğinin inceliklerinden ve diğer tekniklerle karşılaştırmasından; lazer tarayıcıların kendi içinde sınıflandırılmasından, lazer tarayıcıların ölçme prensiplerinden ve bazı ticari firmaların yersel lazer tarayıcılarının teknik özellikleri sunulmuştur.

The Use of Laser Scanners in Documenting Cultural History

Keywords

Lidar,
Photogrammetry,
Cultural heritage,
Laser Scanners,
Documentation.

ABSTRACT

Once the tangible or intangible cultural heritage is destroyed, it cannot be replaced, so it needs to be made sustainable, protected and documented. Since our country is surrounded by seas on three sides and maintains its geopolitical importance in every century, it has hosted many civilizations. Therefore, there are many intangible and tangible cultural heritages in our country. It is beneficial to use fast and high-accuracy techniques for the documentation of cultural heritages, which are numerous in our country. Different techniques have been applied for the documentation of cultural heritages in the past and today. These techniques can be divided into traditional and technological. Although traditional techniques are insufficient for damaged or sensitive detail measurements, they have begun to be abandoned due to their low sensitivity and slowness. Today, traditional documentation techniques have been replaced by technological documentation techniques with fast, optimal cost, high accuracy and precision. Some of the technological documentation techniques; total station, GNSS, lidar, photogrammetry and laser scanning technique. In this study, the definition and importance of cultural heritage is explained, and the comparison of traditional method and technological methods by mentioning; the subtleties of the laser scanning technique, which is one of the technological methods, and its comparison with other techniques; Classification of laser scanners, measuring principles of laser scanners and technical specifications of terrestrial laser scanners of some commercial companies are presented.

1. GİRİŞ

Kültürel miras, geçmiş nesillerden bizlere kalan ve korunması gereken ve gelecek nesillerin yararına aktarılan, evrensel değerlere sahip, belirli kriterlere sahip (geleneğe tanıklık etmek, yaratıcı insan dehasının ürünü olmak, bir veya birden fazla dönemi temsil eden) değerli varlıklardır. Tarihi eserler veya varlıklar somut veya somut olmayan kültür ve doğal mirasları içermektedir (Ulvi vd., 2019; Sarı vd., 2020).

Somut kültürel miraslar kültürel varlıklar olarak tanımlanabilirler. Taşınır ve taşınmaz miras olarak ikiye ayrılır. Tarihi ibadet yerleri, anıtlar, heykeller, tablolar, arkeolojik eserler, kitabeler, kitaplar, manzaralar vb. örnek verilebilir (Ulvi & Yiğit, 2019).

Soyut kültürel miraslar: Folklor, gelenekler, dil, sözlü tarih gibi somut olmayan kültürel miraslardır.

Doğal kültürel miraslar: Kültürel açıdan önem teşkil eden manzara ve biyolojik çeşitlilik gibi miraslardır.

Kültürel ve doğal miraslar, doğal ve doğal olmayan nedenlerle giderek yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır (Ulvi & Yakar, 2014). Kültürel ve doğal mirasa sahip ülkeler ekonomik, bilimsel ve teknik kaynakların yetersizliği nedeniyle bu mirasın korunmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle kültürel mirası korumak ve korunması için geliştirilen bilimsel çalışmaları ve yeni yöntemleri paylaşmak tüm milletlerin görevidir. (Yiğit & Uysal, 2021; Negiz, 2017)

Türkiye bulunduğu coğrafya itibariyle farklı medeniyetlere tarih boyunca ev sahipliği yapmıştır ve yapmaya da devam etmektedir, bu medeniyetlerden kalan kültürel mirasları sınırları içerisinde bulundurmaktadır. Bu kültürel mirasların detaylı ve hassas bir şekilde belgelenerek koruma altına alınması ve dijital olarak arşivlenmesi ülkemiz için önemli olduğu kadar dünya kültür mirası için de büyük ölçüde önem arz etmektedir.

Kültürel miraslar insanlar için geçmiş ve gelecek arasında önemli bir köprü olup toplumsal ve bireysel gelişim için önem arz etmektedir. Bu mirasların orijinalerine uygun olarak önümüzdeki nesillere sirayet ettirilmesi insanlık adına da önemlidir. Dünyada kültürel miras zenginliği açısından sayılı ülkeler arasında olan ülkemizde 2010 yılı Kültür ve Turizm Bakanlığının verilerine göre kültürel miras sayısı 84830'dur. Fakat ülkemizde bu denli kültürel miras zenginliği varken belgelenmesi ve korunması konusunda gerekli duyarlılık gösterilememektedir (Pakben, 2013).

TÜRKİYE GENELİNDE TESCİLLİ TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARI	TAŞINMAZ SAYISI
SİVİL MİMARLIK ÖRNEĞİ	74.424
DİNSEL YAPILAR	10.986
İDARİ YAPILAR	3.319
ENDÜSTRİYEL VE TİCARİ YAPILAR	4.756
ASKERİ YAPILAR	1.497
MEZARLIKLAR	6.034
ŞEHİTLİKLER	322
ANIT VE ABİDELER	409
KORUNMAYA ALINAN SOKAKLAR	79
KALINTILAR	3.216
KÜLTÜREL YAPILAR	14.221
TOPLAM	119.263

Şekil 1. Türkiye genelinde tescilli taşınmaz kültür varlıkları ve sayıları (Kültür varlıkları, 2022).

Ülkemizde kültür mirasının korunmasına ilişkin yetki, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanununun 10. maddesi ile Kültür ve Turizm Bakanlığı'na verilmiştir (RG: 23.7.1983/18113). Şekil 1'de bakanlığın 2021 yılı son verilerine göre ülkemizde kayıtlı kültür mirası sayısı 119 263'tür (Kültür varlıkları, 2022).

Bu zenginliğe rağmen Türkiye kültürel mirasların belgelenmesi ve korunması konusunda gereken hassasiyeti gösterememektedir. Bunun en büyük nedeni ülkemizde saha çalışmalarında yeterli altyapıya sahip personel sayısının çok sınırlı olması ve dokümantasyon çalışmalarının her zaman istenilen doğrulukta yapılamamasıdır.

Lazer tarama tekniği, geçmiş uygarlıkların ve coğrafyalarının izlerini taşıyan ve tarihe ışık tutan yazı ve detayları içeren kültürel miras varlıklarının epigrafik olarak incelenmesi ve bu kapsamda belgelenmesi çalışmalarında sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Bu teknik LIDAR (Light Detection and Ranging-Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme) sistemine dahil edilmiştir (Yakar vd., 2019). Bu yöntemde yüzeyleri taranan nesnenin üç boyutlu (3B) nokta bulutu (nokta veri seti) hızlı ve hassas bir şekilde elde edilebilir. Kültürel mirasın 3 boyutlu modeli elde edilen verilerden oluşturulabilmektedir. Bu model, mirasın iç ve dış mimari özelliklerinin belirlenmesinde, cephe uzunluklarının belirlenmesinde, 2 boyutlu (2B) çizimlerin yapılmasında ve mirasın zarar görmesi durumunda restorasyon çalışmalarında altlık görevi görmektedir (Ulvi, 2015; Duran vd., 2017; Çelik vd., 2020). Bu bağlamda üretilecek nokta bulutunun frekansı ve metrik doğruluğu son derece önemlidir. Yukarıda anlatılan özellikleri neticesinde lazer tarama tekniğinin kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında kullanımı artmaya başlamıştır.

Çalışmanın amaçları arasında kültürel mirasların belgelenmesinde kullanılan geleneksel ve teknolojik belgeleme tekniklerinden söz etmek; teknolojik belgeleme tekniklerinden olan geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve lazer tarama tekniğinin hassasiyet, maliyet, zaman, doğruluk vb. açılardan kıyaslamak; lazer taramanın ölçme prensiplerinden söz etmek olduğu gibi lazer tarama tekniğinin kültürel miras belgelemedeki rolü ve etkinliğini araştırıp avantaj/dezavantajlarını da sunmaktır.

2. KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME TEKNİKLERİ

Günümüzde kültürel mirasın korunması ile ilgili birçok uluslararası antlaşma ve kurum mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır; Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunmasına Dair Sözleşme, Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO), Avrupa Mimari Mirasının Korunması Sözleşmesi, Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN), Soyut Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi ve Kültür Varlıklarının Korunması ve Onarım Çalışmaları Uluslararası Merkezi (ICCROM) vb. Ülkemizde ise bu görevi İçişleri Bakanlığı, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu gibi kurumlar üstlenip yürütmektedir.

Yukarıda bahsedilen kurum ve kuruluşlar var olan kültürel mirasların korunması ve sürdürülebilirliği içindir (Ernst vd., 2021; Kaya vd., 2021). Fakat korunmasının yanında dokümantasyonunda

gerekmektedir işte bu yüzden geçmişten bu yana kültürel miraslar gelecek nesillere orijinalliğini koruyarak aktarılacak istenmiştir ve bu da kültürel mirasın belgelenmesini doğurmuştur. Tarihten bu yana birçok belgeleme tekniği kullanılmıştır; teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu teknikler çeşitlenmekle beraber giderek hata payları azalmış, zamandan tasarruf artmış, iş gücü yükü azalmış ve dijital olarak 3 Boyutlu (3B) belgelemeye kadar ilerlemiştir (Pakben, 2013).

2.1. Geleneksel Belgeleme Teknikleri

Geleneksel belgelemeyi üç ana başlıkta inceleyebiliriz bunlar; görsel belgeleme, yazılı belgeleme ve restorasyon projesi öncesi yapılan çalışmalarıdır. Teknoloji bu denli gelişmeden önce de insanların kültürel varlıkları koruma ve gelecek nesillere aktarma kaygısı vardı. Bu kaygı şuan geleneksel dediğimiz belgeleme tekniklerini ortaya çıkarmıştır. Fakat geleneksel belgeleme teknikleri karmaşık geometrili yapılarda, hasarlı objelerde, hassas detay alımlarının gerektiği koşullarda ölçümlerdeki düşük hassasiyeti ve yavaşlığı nedeniyle terkedilmeye başlanmıştır. Geleneksel belgelemede kullanılan bazı aletler; şerit metre, şakül, pusula, karbon kâğıdı, jalon, prizma, mira, nivo ve teodolit gibi araç gereçlerdir (Pakben, 2013).

2.1.1. Görsel belgeleme

Eskizler, çizimler, eski fotoğraflar, eski haritalar gibi görsel belge ve evraklar ile ya da video / fotoğraf çekimi teknikleriyle belgeleme tekniğidir.

2.1.2. Yazılı belgeleme

Arşiv araştırması, kütüphane araştırması, sözlü kaynak araştırması, koruma durumu, raporlar ve gezi yazıları gibi yazılı kaynaklardan alınan bilgiler ile belgeleme tekniğidir.

2.1.3. Restorasyon projesi öncesi yapılan çalışmalar

Rölöve analizleri (rölöve malzeme analizi, rölöve bozulma analizi, rölöve özgünlük analizi), restitüsyon ve müdahale kararları ile belgeleme tekniğidir.

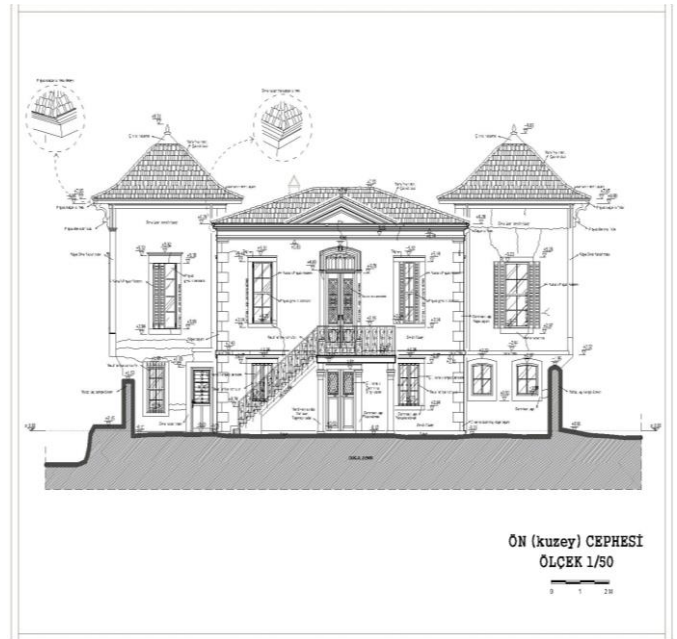
2.2. Teknolojik Belgeleme Teknikleri

Günümüz teknolojisi ve gelişen bilimsel araştırmalar ile rölöve alımında modern tekniklerin kullanılması geleneksel yöntemlere nazaran büyük kolaylık sağlamıştır. Detay ölçüleri almak, çizim yapmak, fotoğraf ve video çekmek ve çizimlerden 3B veriler elde etmek artık daha kolay, daha hızlı ve daha hassas olmaktadır. Bütün bunların yanında modern teknikler elde edilen hassas ve görsellik yönünden zengin verileri uzun bir süre dijital ortamda saklayabilme olanağı sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok belgeleme tekniği gelişmiştir bu belgeleme tekniklerini 3 ana başlık içerisinde inceleyecek olursak; geleneksel rölöve tekniği [GNSS (Global Navigation Satellite Systems- Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri), total station, gelişmiş nivo ve teodolitler vb.], fotogrametri tekniği ve lazer tarama tekniğidir.

2.2.1. Geleneksel rölöve tekniği

Geleneksel rölöve tekniğinde 3 rölöve çalışması vardır bunlar basit rölöve, tespit rölöve ve esas rölöve çalışmalarıdır. Basit rölöve tekniği geleneksel ölçü yöntemleri ile çalışma stildir. Tespit ve esas rölöve çalışmaları teknolojik imkânlardan yararlanan çalışma yöntemleridir ve geleneksel rölöve tekniği olarak adlandırılır.

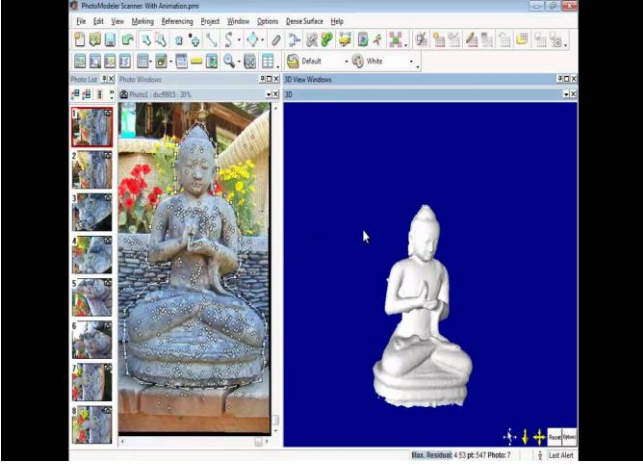
Belirli sistem ve kurallara sahip olan geleneksel rölöve tekniğinde öncelikle kültürel mirasın krokileri çıkartılır. Sonra terazi hattı üzerinden alınan devamlı ölçülerle üçgenleme ve poligon oluşturma yöntemiyle elde edilen ölçüler krokiye yazılır. Ölçüler lazer metre, mira, su terazisi, nivo, şerit metre, ip, t cetveli, pergel, gönye, çekül, teodolit, kumpas, tahta metre, jalon, total station, GNSS ve milimetrik bloklar ile elde edilir. Veriler rölöve yöntemine uygun olacak şekilde ya elle çizilir ya da çizim programına aktarılır.



Şekil 2. 1907 tarihli çift kuleli İtalyan mimari mevcut rölöve projesi (Ayvalık/BALIKESİR) (Restorasyon forum, 2022).

2.2.2. Fotogrametri tekniği

Fotoğraflardan meydana gelen hataları gidererek doğru bilgiler üretme prensibine dayalı olan fotogrametri, neredeyse fotoğraf teknolojisi kadar eski bir tekniktir (Şenol vd., 2020). Bir cismin veya arazi yapısının fotografik görüntülerini kaydetme, modele dönüştürme, yükseklik, mesafe, koordinat, alan ve hacim ölçme ve havadan veya karadan çekilmiş iki boyutlu fotoğrafların üst üste bindirilerek yorumlanması işlemlerini içeren bir teknolojidir. Bilinen uzamsal koordinatların kontrol noktalarına ve noktalar arası üçgenlemeye dayanan bu teknikte DEM (dijital yükseklik modeli) analizi, ortofoto görüntü ve üç boyutlu nokta bulutu da elde edilmektedir.

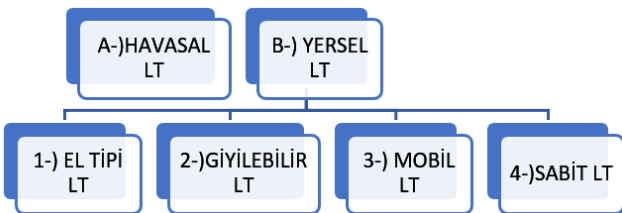


Şekil 3. Fotogrametri tekniği ile belgelenmiş bir heykel (Photomodeler, 2022).

2.2.3. Lazer tarama tekniği

Lazer tarama cihazından çıkan lazer ışınının obje yüzeyine çarpması ve yansıyor geri dönmesi arasında geçen sürenin mesafe ölçümüne dönüştürülmesi ve çekilen fotoğraflarla karşılaştırılması yoluyla belgelemeye lazer tarama tekniği denir (Şenol vd., 2021; Kaya vd., 2021). Lazer tarayıcılar (LT), saniyede binlerce veyahut milyonlarca nokta atıp geri üç boyutlu olarak algılayıp veriye dönüştürebilen sistemlerdir (Memduhoğlu, 2020; Polat vd., 2020). Lazer tarayıcılarda mekanik saptırma ve lazer radar olmak üzere iki adet sistem bulunmaktadır. Mekanik saptırma sistemi, lazer sinyalinin yatay ve dikey açılarının kaydederken; lazer radar sistemi tarayıcıdan atılan lazer ışınının objeye çarptığı yüzeyden geri tarayıcıya dönme süresini hesaplamaktadır. Bu iki sistem sayesinde küresel ve 3B koordinat ağı oluşturulmaktadır. Lazer tarama tekniği daha fazla geliştirilerek su altı tarama ve havadan lazer tarama teknolojisinde de kullanılmaktadır.

Nesne yüzey tabanlı ve 3B ölçüm tekniği olan lazer tarama tekniğinde elde edilen veriler nokta bulutu şeklindedir. Nokta bulutu şeklinde elde edilen ham veriler işlenerek çizime daha sonra da animasyon videosuna ya da 3 boyutlu yüzey modeline dönüştürülebilir. Lazer tarayıcıları Şekil 4. de görüldüğü şekilde sınıflandırabiliriz.



Şekil 4. Lazer tarayıcıların sınıflandırması.

2.2.3.1. Havasal lazer tarama

Lazer tarama cihazı, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ve IMU (Inertial Measuremen Unit-Atalet Ölçüm Birimi)' den oluşan ve hava aracına (helikopter, uçak, drone) yerleştirilmiş bir sistemdir. Nesne ve yüzeyler havadan bu üçlü sistemle tarandığı takdirde (X, Y, Z) koordinat ve yükseklik değerleri içeren nokta bulutu elde edilir.

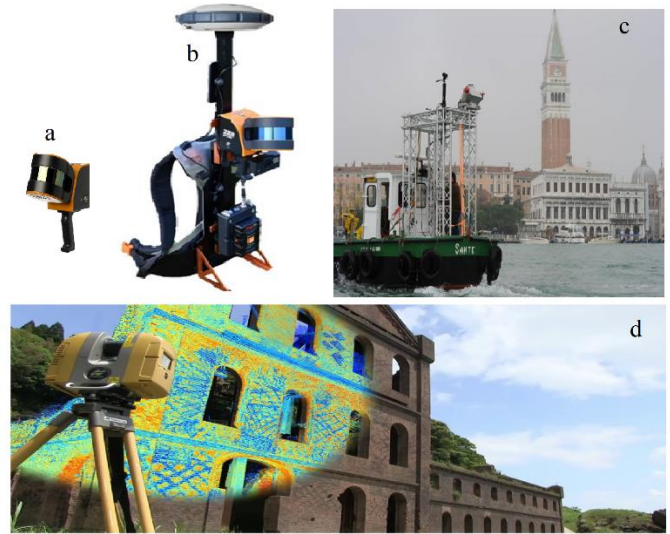
Havadan lazer tarama, tarım veya ormanlık alanlar, kentsel alanlar, endüstriyel tesisler vb. gibi geniş alanların; kültürel miras anlamında bakıldığında geniş doğal kültürel mirasların ve sit alanlarının 3B verilerini yakalamanın hızlı, yüksek doğrulukta ve verimli bir yöntemidir.



Şekil 5. Havasal lazer taramanın helikopter örneği (Emigrup, 2021).

2.2.3.2. Yersel lazer tarama

Yersel lazer tarama (yzt) denildiğinde dört tip lazer tarama aklı gelmektedir. Bunlar el tipi lazer tarama, giyilebilir lazer tarama, mobil lazer tarama ve sabit lazer taramadır.



Şekil 6. Yersel lazer tarayıcı modelleri (a: El tipi Lt, b:Giyilebilir Lt, c: Mobil Lt d: Sabit Lt) (Bimportale, 2022).

2.2.3.2.1. El tipi lazer tarama

El tipi lazer tarama cihazları hem sabit bir şekilde hem de gezici (mobil) şeklinde kullanılabildiği için mobil ve yersel lazer tarama (yzt) sistemlerinin kombinasyonu gibi düşünülebilir. Mobil (hareketli) ve yersel (sabit) lazer tarama sistemlerinin kombinasyonu olması nedeniyle hibrit bir ölçme tekniğini barındırır (Zeybek & Vatandaşlar, 2021). Her saniyede atılan lazer sinyalleri ve geri dönüşünden elde edilen nokta bulutları anlık konumlandırma algoritmaları ile işlenerek üç boyutlu nokta bulutu modelinin oluşturulmasını sağlar. Örnek Şekil 6. a.

2.2.3.2.2. Giyilebilir lazer tarama

Giyilebilir lazer tarayıcıları SLAM (simultaneous localization and mapping - eşzamanlı konum belirleme ve haritalama) teknolojisiyle entegre etmek; hem kapalı hem de açık ortamlarda aralıksız gerçek zamanlı SLAM kayıt ve tarama yetenekleri sağlar. Sırt çantası modunda kullanılabilir ve ormancılık, harita üretimi, madencilik, stok hacmi araştırmaları, mimari ve restorasyon çalışmaları gibi çeşitli alanlarda çok yönlülük sunar. Sezgisel kullanıcı ara yüzü aracılığıyla herhangi bir cihaza gerçek zamanlı nokta bulutu veri akışı, kullanıcıların 3D ortamı hızlı bir şekilde anlamalarını sağlar. Tarama sırasında ve sonrasında kullanıcılar, ölçüm rotası, yoğunluk ve zaman damgası bilgileri dahil olmak üzere verileri anında görüntüleyebilir.

Sezgisel kullanıcı ara yüzü aracılığıyla herhangi bir cihazla gerçek zamanlı nokta bulutu veri akışı, kullanıcıların 3D ortamını hızlı bir şekilde anlamalarını sağlar. Tarama sırasında ve sonrasında, kullanıcılar ölçme rotasını, yoğunluğu ve zaman damgası bilgilerini içeren verileri anında görüntüleyebilirler. Örnek Şekil 6. b.

2.2.3.2.3. Mobil lazer tarama

Hem 2D hem de 3D lazer tarayıcılar, mobil haritalama uygulamaları için idealdir. Tekneler, trenler, karayolu ve arazi araçları gibi hareketli platformlardan elde edilen tarama verilerini kaydetmek için lazer tarayıcı, GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ve IMU gibi konum ve durum sensörleriyle desteklenir.

Mobil lazer tarama gelişmiş ve modern ölçüm tekniklerinden biridir. GNSS ve yer kontrol noktaları (ykn) ile bütünleşik bir sistemdir. Bilimsel araştırma ve çalışmalarda yaygın olarak kullanılan sabit lazer tarayıcı sistemine birçok bakımdan benzerdir. Ancak sabit lazer tarayıcılara nazaran daha az doğruluk sağlarlar.

Mobil lazer tarayıcı sistemleri tren, tekne, araba vb. araçlara monte edilip bu araçlarla bütünleşik çalışabilmektedir. Dolayısıyla ölçüm hızı araç hızına eşitlenir ve objenin hızı ve aralığına bağlı olarak 1 metre kare alanda nokta yoğunluğu binlerce noktaya ulaşabilmektedir. Örnek Şekil 6. c.

2.2.3.2.4. Sabit lazer tarama

Sabit lazer tarama tekniği hem maliyet hem de zaman kazancı bakımından gerekse kullanım kolaylığı açısından arkeolojik ve birçok mühendislik alanında sıkça tercih edilen ve kabul gören bir tekniktir. Örnek Şekil 6. d.

Lazer teknolojisi başlangıçta elektronik uzunluk ölçümleri, altyapı çalışmaları, tüneller, ulaşım, baraj ve bina gibi inşaat mühendisliği ve jeodezik alanlarda kullanılırken teknolojinin gelişmesiyle birlikte nesne ya da alanların deformasyonu, mimarlık ve kültürel mirasın 3B dokümantasyonu çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lazer ölçmelerinde cihaz ile ölçülen nokta arasındaki mesafe temel büyüklüktür (Cömert vd., 2012). Lazer mesafe ölçümü için; faz farkı ölçümü, üçgenleme metodu ve ışının gidiş-dönüş zamanı ölçümü metodu olmak üzere üç farklı çalışma prensibi bulunmaktadır.

Lazer tarama sonucu elde edilen ham veri olan nokta bulutundan temel ölçme verilerinin yanı sıra 2B, 3B çizimler, ortofoto görüntüler, katı yüzey modeli, 3B animasyonlar veyahut doku giydirilmiş 3B modeller oluşturulabilmektedir (Hepyörük, 2015). Yoğun nokta bulutundan ve etkin bir veri toplama tekniği olduğundan dolayı sabit lazer tarama tekniği hem ölçmecilere hem de bu verileri kullananlara kolaylık sağlamaktadır. Sabit lazer taramanın; gerçek renkli görüntü üretme, yüksek doğruluklu sayısal arazi modeli üretme, güvenli veri toplama imkânı, nesne ile temas etmeden veri toplama, hızlı ölçüm, yoğun nokta bulutu oluşturma, alanın ya da nesnenin belli aralıklarla tamamen ölçülebilmesi ve lazer ölçülerin başka ölçüler ile kolay bir şekilde entegrasyonu gibi avantajları mevcuttur.

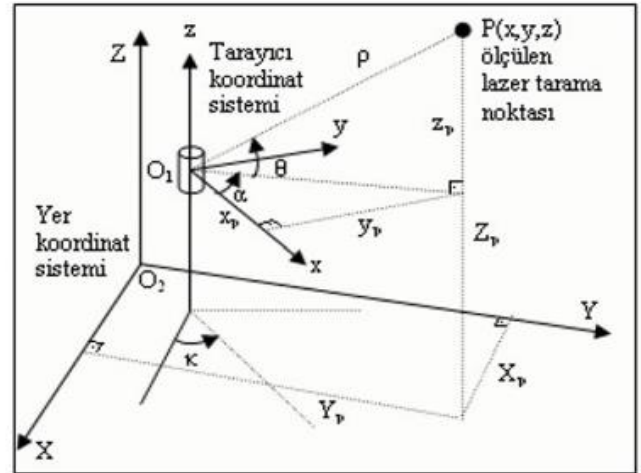
3. LAZER TARAYICILARIN ÖLÇME PRENSİPLERİ

Lazer mesafe ölçümü için faz farkı ölçümü, üçgenleme metodu ve ışının gidiş-dönüş zamanı (Time of Flight) ölçümü olmak üzere 3 farklı teknik kullanılmaktadır. Nesnenin 3B modelini oluşturmak için bu 3 teknikten biri ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen nokta bulutları seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilir.

Lazer tarayıcı nesneyi yatay ve dikey yönde belli bir açı ile tarayarak nokta bulutu elde edilmesini sağlar. Her lazer atımı için tarayıcı merkezli kutupsal koordinatlar ölçülmekle beraber bunlar; ölçüm doğrusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı α , nesne üzerindeki atım yapılan noktaya eğik uzunluk ρ ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemde yaptığı eğim açısı θ ' dir. Ölçme yüzeyinin uzaklığına ve yapısına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğu da ölçülerek kaydedilir.

Sabit lazer tarayıcılarda koordinat sistemi ve ölçülen büyüklükler Şekil 7.teki gibidir. Şekil 7. Teki bilinmeyenlerin açıklaması aşağıdaki gibidir.

- x,y,z: Tarayıcı alet orijinli nokta bulutu koordinatları,
- ρ : Lazer tarayıcı ile ölçülen nesne noktası arasındaki eğik mesafe,
- α : Işın doğrultusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı,
- θ : Işın doğrultusunun yatay düzlemde yaptığı eğim açısı,
- O1: Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- O2: Yer koordinat sistemi merkezidir.



Şekil 7. Yersel lazer tarayıcı ölçümleri, tarayıcı koordinat sistemi ve yer koordinat sistemi (9lib, 2022).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \alpha \\ \cos \theta \sin \alpha \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

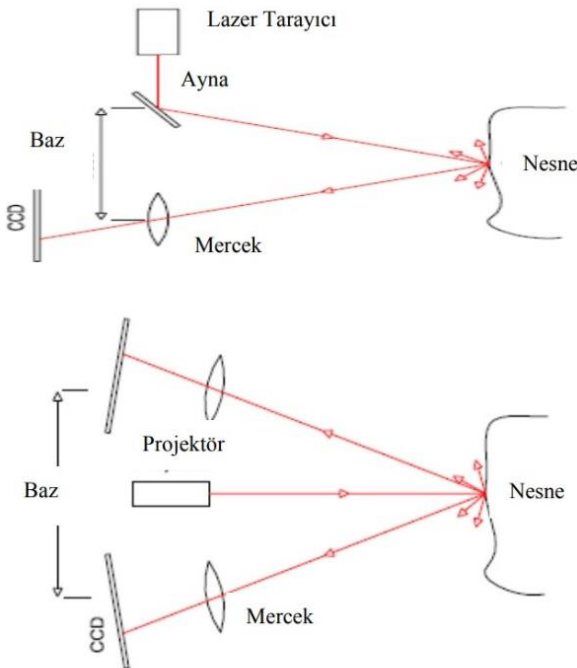
Burada; Yersel lazer tarayıcı ölçülerinin tarayıcı alet orijini koordinatlarına dönüşümünü açıklayan geometrik ilişki.

Sabit lazer tarayıcılar total stationlar gibi koordinatları belli bir noktaya kurulup istenildiği gibi yönlendirilemediği için ölçüm cihazı orijini x, y, z eksenleri her seferinde farklı bir doğrultü gösterecektir. Bu yüzden bir nesne ya da alan için yapılan farklı kurulumlardan elde edilen bütün taramalar ortak koordinat sisteminde birleştirilmelidir.

Taramaların ortak koordinat sisteminde birleştirilebilmesi için mimari rölöve alımlarında binanın ya da alanın yüzey taraması yapılacaksa cihaz herhangi bir noktaya kurulur görünen alan taranır bir sonraki taramada önceki taramanın bitişik alanını tarayacak şekilde tarama yapılır. Her taramada bir önceki taranan yüzey ile belli oranda örtüşecek şekilde ortak taramalar yapılır.

3.1. Üçgenleme metodu

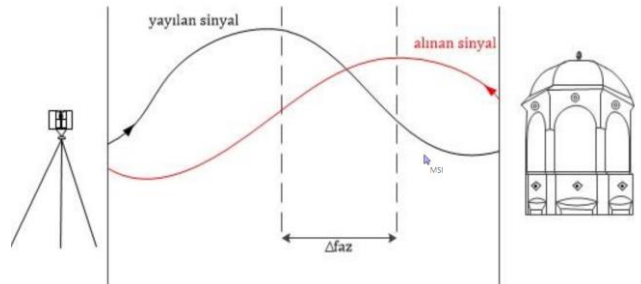
Sektörde farklı metotlarla işlem yapan lazer tarayıcılar mevcuttur bunlardan birisi olan üçgenleme metodudur ve bu tarayıcılarda taranan noktanın koordinatları optik üçgenleme yöntemi ile belirlenmektedir. Bu metoda göre cihaz lazer ışını nesne yüzeyine yönlendirir ve objeden yansıyan lazer ışını CCD (charged-coupled device) kamera toplar (Yakar, 2018). Yansıtıcı - nesne - CCD kamera arasında oluşan ışın üçgenlerinden nesne yüzeyindeki noktaların koordinatları belirlenir. Bu metot ile işlem yapan tarayıcılarda konum belirlemek için tek veya çift kameralı çözümler uygulanır.



Şekil 8. Üçgenleme metodu ile işlem yapan lazer tarayıcıların çalışma prensibi (Gümüş & Erkaya, 2007).

3.2. Faz farkı metodu

Faz farkı metodu temel anlamda lazer tarama cihazından çıkan lazer ışınları ile yansıyan ışınların karşılaştırılıp faz farkının ölçülmesidir. Faz farkı metodunda ışınlar sürekli dalga olarak gönderilmektedir ve gönderilen ile alınan dalga zamana bağlı olarak değişse de faz farkı değişmemektedir (Açık ders, 2022). Bu yöntemde, cihazdan çıkan ve objeden yansıyan ışının sinüs dalgasına göre karşılaştırması yapılır ve faz farkı belirlenir. Böylelikle tarayıcı ile nesne arasındaki mesafe yayılan sinyalle alınan sinyal arasındaki faz farkının ölçülmesi sonucunda bulunur ve farklı uzunluktaki dalgalar ile elde edilen faz farkları yardımıyla yüksek duyarlılıklı uzunluk elde edilebilir (Alptekin vd., 2019).



Şekil 9. Faz farkı yöntemi (Çelik vd., 2020).

3.3. Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile ölçüm metodu

Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile ölçüm metodunda tarayıcı cihaz ile taranan nesne üzerindeki nokta arasındaki mesafe, lazer ışınının cihazdan çıkışı ve geri cihaza dönüşü arasındaki zaman farkı ölçülerek hesaplanmaktadır (Ossowski & Tysiáč, 2018). Bu metot ile çalışan lazer tarayıcılar nesneden yansıyan ışını toplamak için bir foto diyota sahiptir. Aynı zamanda lazer ışınının atımı ile aktif duruma geçip ve geri yansıyan ışının yakalanması ile pasif duruma geçen çok hassas bir saat mekanizmasına da sahiptir. Bu mekanizmalar sayesinde zaman farkı belirlenmektedir.



Şekil 10. Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile işlem yapan tarayıcıların çalışma prensibi (Gümüş & Erkaya, 2007).

4. YERSEL LAZER TARAMA TEKNİĞİNDE DOĞRULUK

Çevresel faktörler, nesnenin yüzey geçirgenliği, yansıtıcı özelliği, pürüzlülüğü ve yüzeyin renk kontrastı gibi değişik sebeplerden dolayı tüm ölçüm aletlerinde olduğu gibi yersel lazer tarayıcı ile yapılan ölçmelerin sonuçları da hatalı olabilmektedir (Ağca vd., 2016). Tüm ölçme alet ve donanımlarında hangi doğrulukta ölçme yapıldığının bilinmesi ne kadar elzem ise lazer tarayıcılar ile yapılacak ölçmelerde de hangi doğrulukta ölçüm

yapılacağı bilinmesi o kadar elzemdir (Karşıdağ & Alkan, 2011).

Lazer tarayıcıların doğruluğu ile ilgili araştırmalar yapıp birçok yöntem geliştirilmiştir ve bilimsel olarak sonuçları yayınlanmıştır. Yayımlanan bu sonuçlara bakıldığında lazer tarayıcıların uzun mesafede yani 1000m ve üzerinde 10cm, kısa mesafede yani 300m ve altında 1cm civarında ölçü hassasiyeti vardır (Ulvi vd., 2019).

Lazer tarayıcıların doğruluk araştırması için yapılan çalışmalarda doğruluğun, tarama mesafesi ile ters orantılı; tarama yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir (Yaman & Kurt, 2019). Bu durumda yersel lazer tarayıcıların nesneye daha yakın mesafede ve daha yoğun tarama ile daha iyi sonuçlar vereceği çıkarımı yapılabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çevresel faktörler ve nesne yüzeyinin özelliklerinden dolayı veri kalitesi etkilenmektedir. Düz ve pürüzsüz nesne yüzeyinden elde edilen 3B nokta bulutu düzensiz ve bozuk olduğu; siyah veya koyu renkli yüzeylerin lazer ışınını ya az yansıttığı ya da yansıtmadığı için 3B nokta bulutunun bazı bölgelerinde az veya hiç nokta verisi olmadığından tespit edilmiştir.

5. FARKLI BELGELEME TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Pehlivan vd., (2022) Muğla ili, Milas ilçesi, Kıyıkışlacık Mahallesi'nde yer alan İasos Antik Kentini belgelerken farklı belgeleme tekniklerini aynı noktaları baz alarak karşılaştırma yapmıştır. Bu noktalar a, b, c,... j ve k'dir.

Geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve yersel lazer tarama tekniği ölçüm doğruluğu açısından karşılaştırıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Belirlenen yapı elemanlarının boyutları, her üç teknikte de ölçülmüş ve bu ölçüler arasındaki farklılıklar hesaplanmıştır. En fazla fark (b) döşeme taşında 0,5 cm olarak çıkmıştır. Hiç farkın olmadığı (0 cm) ölçümler de tespit edilmiştir. Cephe ölçümleri için en fazla 1,9 cm'lik fark; en az 0,1 cm'lik fark ortaya çıkmıştır. Belirtilen farklılıkların tümünün Letellier ve CIPA'nın referans aralıklarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre ölçüm doğruluğu bakımından üç yöntem de doğru sonuçlar vermektedir ve bu tekniklerin kullanılabilir olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Ölçü Alınan Yerler	Gel. Röl.	Fotogr.	Lazer Tarama	Gel. Röl.- Fotog.	Fotog.- Lazer Tar.	Gel.Röl.- Lazer Tar.	Letellier'e göre referans aralığı	CIPA'ya göre referans aralığı
a	161,4	161,4	161,3	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
b	53,5	53,0	53,0	0,5	0	0,5	± 0,2 - 0,5 Uygun	± 0,5 - 1 uygun
c	151,5	151,6	151,3	0,1	0,3	0,2	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
d	70,8	70,8	70,8	0	0	0	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
e	279,7	279,8	279,6	0,1	0,2	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
f	29,5	29,5	29,4	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
g	15,4	15,5	15,4	0,1	0,1	0	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
h	121,8	121,8	121,7	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
ı	86,3	86,3	86,5	0	0,2	0,2	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
i	87,5	87,8	87,8	0,3	0	0,3	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
j	1105	1105,1	1105,8	0,1	0,7	0,8	± 1 - 2,5 uygun	± 1 - 2 uygun
k	2564,3	2564,4	2566,2	0,1	1,8	1,9	± 1 - 2,5 uygun	± 1 - 2 uygun
*Ölçüler cm cinsinden verilmiştir.								

Şekil 11. Geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve yersel lazer tarama tekniklerinin ölçüm doğruluğu açısından karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

	Geleneksel rölöve tekniği ile belgeleme	Fotogrametri ile belgeleme	Lazer tarama ile belgeleme
Alan çalışmasının süresi	38 saat	1/3 saat	8 saat
Büro çalışmasının süresi	26 saat	5 saat	12 saat
Alan çalışmasında gerekli minimum personel sayısı	3	1	1
Alan çalışmasında gerekli minimum teknik personel sayısı	3 (Geleneksel rölöve tekniğini bilen en az bir kişi)	0 (Sadece ekipman kullanmayı bilen bir kişi yeterli)	0 (Sadece ekipman kullanmayı bilen bir kişi yeterli)
Büro çalışmasında gerekli minimum teknik personel sayısı	1 (Geleneksel rölöve tekniğini bilen en az 1 mimar)	1 (En az 1 mimar)	1 (En az 1 mimar)
Yatırım maliyeti (İlk maliyet)*	365 TL	21.334 TL	350.000TL
Yıllık işletme maliyeti (yazılım maliyeti, kalem kâğıt gibi sarf malzeme maliyeti vb.)	22 TL	1.485 TL	7.096 TL
*Bilgisayar ve çizim programı hepsi için gerekli olduğundan bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir. Çalışmada kullanılan ekipmanların ve yazılımların fiyatları toplanarak hesaplanmıştır.			

Şekil 12. Farklı belgeleme tekniklerini zaman, personel ve maliyet açısından karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

	Geleneksel rölöve tekniği ile belgeleme	Fotogrametri ile belgeleme	Lazer tarama ile belgeleme
Güçlü Yönler	Kolay temin edilebilir, ucuz ekipman gerektirmesi.	Emek ve zamandan kazanç sağlama, Yazılımın çıktısı olarak üç boyutlu model ve ortofoto vermesi.	Emek ve zamandan kazanç sağlama, Yazılımın çıktısı olarak ortofoto vermesi.
Zayıf Yönler	Diğer tekniklerden daha fazla iş gücü gerektirmesi, Hem alanda hem de masa başı çalışmada diğer tekniklerden daha fazla zaman harcanması.	Yersel fotogrametri ile hava fotogrametrisi için çekilen fotoğrafların aynı programda, bir arada değerlendirilme güçlüğüne sahip olması, Arkeolojik alanların belgelenmesinde faydalı olmasına rağmen kapalı bir mekânın belgelenmesinde İHA kullanımı zorluğunun bulunması, Ekipman gerekliliğinin olması (İHA, fotogrametri için program,	Büyük yapılar için çok sayıda istasyon gerektirmesi, Yoğun bir nokta bulutu oluşturduğundan yeterli donanıma sahip bir bilgisayarla çalışma zorunluluğunun olması, Ekipman gerekliliğinin bulunması (yersel lazer tarayıcı, tarayıcı için program, çizim programı, bilgisayar), Parçalanması güç bütüncül veri elde edilmesi (Romero, 2021)
Fırsatlar	Öğrencilerin üç boyutlu gördüğü yapıyı iki boyuta aktarabilme yetisini geliştirmesine katkı sağlama, Ayrıca mimarın yapının her detayını tanıyıp irdeleyebilmesine imkân tanınması.	Cihaz ve yazılımla belgeleme yapıldığından insan hatasından uzak olması (Booyesen vd., 2021, Ebert, 2015; Wasklewicz vd., 2013; Aber vd., 2010), Arazi şartları gereği yaklaşılabilen yapıların hava fotogrametrisi yöntemiyle belgelenme imkânı olması (Romero, 2021), Bilgisayar donanımı gerektirmeden server üzerinden çalışan programların varlığı,	Cihaz ve yazılımla belgeleme yapıldığından insan hatasından uzak olması (Boehler ve Marbs, 2004), Heykel gibi küçük eser belgeleme söz konusuysa avantajlı olması (Romero, 2021), Üç boyutlu model için hazır altlık sunması, İstenilen kottan plan çıkartma ve talep edilirse bu kotu sonradan değiştirebilme fırsatının bulunması.
Tehditler	İnsan hatasına açık olması (Romero, 2021).	Fotoğraflar yetersizse düzgün bir üç boyutlu model oluşmaması, Bazı durumlarda İHA'nın uçuşuna izin verilmemesi.	İstasyonlardan elde edilen görüntülerin çakıştırılma problemi ya da çok sayıda referans noktasının oluşturulması, Her bir istasyona cihazın taşınması ve cihazın ağır olması, arkeolojik alanlarda cihaz kurulumu için her zaman uygun bir alanın bulunamaması, Gün ışığının yoğun ve alıcı ile hedef yüzey arasındaki mesafenin fazla olması durumunda, düşük görüntü kalitesi elde edilmesi, Tarayıcının mimari elemanı herhangi bir sebeple görememesi durumunda tarayamaması (Romero, 2021).

Şekil 13. Farklı belgeleme tekniklerinin (SWOT) GZFT(Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Tehditler) analizine göre karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

6. Sektörde Yaygın Olarak Kullanılan Yersel lazer Tarayıcılar ve Bazı Teknik Özellikleri

Sektörde farklı markaların farklı teknik özelliklere sahip birçok modelde lazer tarayıcıları mevcuttur. Bu bölümde farklı markaların sabit lazer tarayıcılarının teknik özelliklerinden bahsedilecektir.

Lazer tarayıcıların elbette pek çok teknik özelliği bulunmaktadır fakat karşılaştırma için bir standart oluşturulması gerekiyordu ve bu standart karşılaştırmayı yapabilmek için şu teknik özellikler seçilmiştir; Batarya süresi, batarya adedi, uygun çalışma sıcaklığı, ağırlığı, uzunluk ölçüleri, uzunluk hassasiyeti, veri alma mesafesi, çözünürlük, ölçüm hızı, SD kart özelliği, ölçme prensibi ve görüş alanı.



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	4.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	240*200*100 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6-350 m
Çözünürlük	165 MP
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 14. FARO Focus S 350



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	40 kurulumdan fazla
Batarya Adedi	-
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	1 kg
Uzunluk Ölçüleri	165mm yükseklik 100 mm çap
Uzaklık Hassasiyeti	±5 mm
Veri Alma Mesafesi	0.5-20m
Çözünürlük	15 MP
Ölçüm Hızı	360.000 nokta/sn
SD Kart	16 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 15. LEİCA BLK360



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	0-40 C°
Ağırlığı	10.7 kg
Uzunluk Ölçüleri	335*386*242 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6-340m
Çözünürlük	10 MP
Ölçüm Hızı	1 Mn nokta/sn
SD Kart	USB 3.0 Flash
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 317° düşey

Şekil 16. TRİMBLE - TX8



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	6.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-10)-45 C°
Ağırlığı	9.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	310*276*212 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±3 mm
Veri Alma Mesafesi	0.4-79m
Çözünürlük	20 MP
Ölçüm Hızı	508.000 nokta/sn
SD Kart	64 GB
Ölçme Prensibi	Faz Farka
Görüş Alanı	360° yatay 310° düşey

Şekil 17. Z+F IMAGER 5006i



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	13 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-20)-50 C°
Ağırlığı	12.25 kg
Uzunluk Ölçüleri	238*358*395 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±5 mm
Veri Alma Mesafesi	0.4 m-1 km+
Çözünürlük	700 MP
Ölçüm Hızı	1 Mn nokta/sn
SD Kart	256 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 290° düşey

Şekil 18. LEİCA P50



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	5.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	240*200*100 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±2 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6 -130 m
Çözünürlük	70 MP
Ölçüm Hızı	1.22 Mn nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 19. FARO X130



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	8 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-5)-40 C°
Ağırlığı	5.35 kg
Uzunluk Ölçüleri	120*240*230 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.5 -130 m
Çözünürlük	432 MP
Ölçüm Hızı	2 Mn nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 20. LEİCA RTC360

7. SONUÇLAR

Geleneksel yöntemler kültürel mirasın belgelenmesinde yavaş, maliyetli, hassasiyeti düşük ve sınırlı sayıda veri kümesi oluşmasına sebebiyet verdiğinden dolayı yavaş yavaş terkedilmeye başlanmıştır ve yerini ileri teknoloji belgeleme tekniklerine bırakmak zorunda kalmıştır. Bu ileri teknoloji belgeleme tekniklerinden biri olan lazer tarama ile ölçüm tekniği son yıllarda gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer tarama ile kültürel miras belgeleme tekniğinde bir adet lazer tarayıcı, gerekli yazılıma sahip bir adet bilgisayar ve yeterli bilgi birikime sahip bir adet personel belgeleme için yeterlidir. Tarama işleminde kullanılan tarayıcıdan çıkan lazer ışını uzunluk ölçümü ve görüntüleme için kullanılmaktadır.

Geleneksel yöntemlerde objenin cephe ve detay ölçümleri yapılabilmektedir. Çok büyük objelerin veya yapıların plan ölçümlerinin yapılması zordur.

Totalstation ile büyük ya da küçük yapıların cephe, plan ve detay ölçümleri kolaylıkla yapılabilir fakat zaman tasarrufu ve doğruluk açısından yetersiz kalmaktadır.

GNSS ile ölçümde ise kapalı alanlarda çalışılmayıp sadece açık sahalarda ve açık alanlarda çalışılabilmektedir.

Günümüzde hızlı ve minimum eksikle 3B modellere ve görsel bilgilere en az maliyetle sahip olmak çok önemlidir. 3B bilginin farklı amaçlarda kullanılması için çok büyük miktarlarda verinin hızlı bir şekilde toplanması gerekir ve böyle durumlarda sayısal fotogrametrik ve geleneksel jeodezik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden hızlı bir şekilde nesne geometrisinin yüksek doğruluk ile 3B ölçümünü yapabilen yersel lazer tarama teknolojisi kullanılabilir. Özellikle kültürel miras belgeleme ve inşaat alanında yaygınlaşan bu sistemin zaman, maliyet ve iş gücü yükünün hafiflemesi gibi önemli avantajlar da sağlamaktadır.

Geleneksel yöntemler ile belki de saatler içerisinde elde edilemeyecek veriler yersel lazer tarayıcılar ile saniyeler içinde elde edilebilmektedir. Lazer tarayıcıların doğruluk araştırması için yapılan çalışmalarda doğruluğun, tarama mesafesi ile ters orantılı; tarama yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Bu durumda yersel lazer tarayıcıların nesneye daha yakın

mesafede ve daha yoğun tarama ile daha iyi sonuçlar vereceği çıkarımı yapılabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çevresel faktörler ve nesne yüzeyinin özelliklerinden dolayı veri kalitesi etkilenmektedir. Düz ve pürüzsüz nesne yüzeyinden elde edilen 3B nokta bulutu düzensiz ve bozuk olduğu; siyah veya koyu renkli yüzeylerin lazer ışınına ya az yansıtıldığı ya da yansıtmadığı için 3B nokta bulutunun bazı bölgelerinde az veya hiç nokta verisi olmadığından tespit edilmiştir.

Tarama sonucu elde edilen nokta bulutları değerlendirmeye alınırken, nesne yüzeyinin fiziksel (doku, renk, yansıtıcılık) özelliklerine göre farklılık gösterebileceği ve nesnesi birebir yansıtmayabileceği dikkate alınmalıdır.

Yersel lazer tarama tekniğinin uygulanması için gerekli olan lazer tarayıcı ve yüksek kapasiteli bilgisayar donanımı oldukça pahalıdır. Düşünüldüğünde kuruluş maliyeti açısından pahalı gibi görünse de zaman içerisinde verdiği doğruluk, kullanım kolaylığı, iş gücünü hafifletmesi ve kazandırdığı zamandan dolayı kuruluş masrafları misliyle karşılanabilmektedir.

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

- Ağca, M., Efdal, K., Murat, H. M. & Adıgüzel, F. (2016). Yersel Lazer Tarayıcı ve İha Sistemlerinden Elde Edilen Verilerin 3B Modellemedeki Hassasiyetlerinin Karşılaştırılması: Somuncu Baba Külliyesi Örneği, Aksaray. 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 146-151.
- 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.
- Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G. & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Turkey Lidar Journal*, 2(1), 15-22.
- Çömert, R., Avdan, U., Muammer, T. Ü. N. & ERSOY, M. (2012). Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 1-18.
- Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.
- Gümüş, K., & Erkaya, H. (2007). Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler. *YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul*.

- Hepyörük, G. (2015). Tarihi ve kültürel varlıkların belgelendirilmesi ve üç boyutlu modelinin oluşturulmasında yersel lazer tarayıcıların kullanım olanaklarının araştırılması ve Karacabey Türbesi (Ankara) örneği (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karşıdağ, G. & Alkan, R. M. (2011). Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 1-10.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021b). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021a). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- Negiz, N. (2017). Kentlerin tarihsel sürdürülebilirliğinde kültürel miras: önemi ve değeri üzerine düşünmek. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 3(1), 159-172.
- Ossowski, R. & Tysiąg, P. (2018). A new approach of coastal cliff monitoring using mobile laser scanning. *Polish Maritime Research*. ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (98), 20-27.
- Pakben, U. (2013). Tarihi yapıların rölöve ve analizlerinde kullanılan ileri belgeleme teknikleri (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- 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.
- 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.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- 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*, 6(1), 25-36.
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Ulvi, A. (2015). Metrik olmayan dijital kameraların hava fotogrametrisinde yakın resim çalışmalarda (yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği üzerine bir çalışma. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 188s.
- Ulvi, A., Varol, F. & Yiğit, A. Y. (2019). 3D modeling of cultural heritage: the example of Muiy Mubarek Mosque in Uzbekistan (Hz. Osman's Mushafi). *International Congress on Cultural Heritage and Tourism (ICCHT)*, Bishkek, Kyrgyzstan, 115-123.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & 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. (2018). GIS and Three Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, 50-56.
- Yakar, M., Karabacak, A. & Fidan, Ş. (2019). Arazi Ölçmeleri 1. Atlas Akademi, 1, ISBN: 9786057839398, 188s.
- Yaman, A. & Kurt, M. (2019). Tarihi ve kültürel mirasların belgelenmesi ve üç boyutlu modellenmesi için Geoslam yersel lazer tarayıcının kullanım olanaklarının araştırılması: Aksaray İli Ulucami Örneği. *Turkey Lidar Journal*, 1(1), 5-9.
- Yiğit, A. Y. & Uysal, (2021) M. Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 1032-1043.
- Zeybek, M. & Vatandaşlar, C. (2021). El-tipi LiDAR Verisiyle Ağaç Gövdelerinin Tespiti ve Sınıflandırılmasında Yapay Zeka Teknikleri. *PROCEEDINGS BOOK*, 469.

İnternet Kaynakları

- Emigrup (2022). Erişim adresi: <https://www.emigrup.com/hava-lidar/>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Kültür varlıkları (2022). Erişim adresi: <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/belge/1-74301/dunya-kulturel-ve-dogal-mirasin-korunmasi-sozlesmesi.html>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Kültür varlıkları (2022). Erişim adresi: <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varligi.html>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Açık ders (2022). Erişim adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/119281/mod_resource/content/0/7_Uzunluk_Olcmeleri.pdf
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Photomodeler (2022). Erişim adresi: <https://www.photomodeler.com/top-photomodeler-videos-for-learning/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Restorasyon forum (2022). Erişim adresi: <https://www.restorasyonforum.com/rolove-restitusyon-restorasyon-projeleri/rolove-projesi/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Bimportale (2022). Erişim adresi: <https://www.bimportale.com/laser-scanner-3d-topcon-le-nuvole-punti/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- 9lib (2022). Erişim adresi: <https://9lib.net/document/lq5rjmjz-yersel-lazer-tarayici-bulutlarnin-jeodezik-koordinat-sistemine-doenuestueruelmesi.html>
Erişim tarihi: 14.06.2022



© Author(s) 2021.

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