

e-ISSN
2717-6797

TURKEY

LiDAR JOURNAL

TÜRKİYE LİDAR DERGİSİ



Vol/Cilt:3
Issue/Sayı:2
June/Haziran, 2021



Türkiye LİDAR Dergisi

Dergi Hakkında

Türkiye LiDAR Dergisi; LiDAR teknolojisini geliştirme, kullanım ve yer bilimleriyle ilgili çalışmalarını 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 / aulvi78@gmail.com



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 / aulvi78@gmail.com



Türkiye LiDAR Dergisi
Turkish Journal of LiDAR

EDİTÖR / EDITOR

Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ

Mersin University, Institute of Science and Technology / Remote Sensing and Geographic Information Systems
Mersin

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
hzenol@harran.edu.tr

Mizanpaj

Res. Asst. Abdurahman Yasin YİĞİT, Mersin University
ayasinigit@mersin.edu.tr

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
39-47**	<i>Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı (Use of Terrestrial Laser Scanning Technology in Complex Structures and Areas)</i> Mücahit Emre ORUÇ & Gizem BAŞ
48- 57**	<i>Yersel Lazer Tarama Teknolojileriyle Oluşturulan 3B Modellerin Akıllı Kent Uygulamalarında Kullanımı: Mersin Süslü Çeşme Örneği (The Use of 3D Models Created with Terrestrial Laser Scanning Technologies in Smart City Applications: The Example of Süslü Fountain in Mersin)</i> Doğa FİDAN & Şafak FİDAN
58-64**	<i>Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzikara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi (Obtaining 3D Point Cloud of Agzikara Khan Using Terrestrial Laser Scanning Method)</i> Engin KANUN, Azim METİN & Murat YAKAR
65- 70**	<i>Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği (Laser Scanning Technique for 3D Modeling of Small Objects)</i> Zekeriya KAÇARLAR & Seda Nur Gamze HAMAL

Derleme Makaleleri;

Review Articles;*

S. No	Makale Adı (Tr./En.) ve Yazar Adı
71-75*	<i>Lazer Tarayıcının Jeolojik Olayların Modellenmesinde Kullanımı (Usage of Laser Scanner in Modeling Geological Events)</i> Aydın ALPTEKİN & Murat YAKAR



Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı

Mücahit Emre ORUÇ*¹ , Gizem BAŞ*² 

¹Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yersel lazer tarama,
Fotogrametri,
3B model,
Nokta bulutu.

ÖZ

Bilim ve teknolojik gelişmelerin sonucunda birçok yeni teknoloji, yazılım ve donanımlar ortaya çıkmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler her bir alanda kendini göstermekte ve ilgili alanlarda kolaylıklar sağlamaktadır. Yersel lazer tarama tekniği de bu teknolojilerden biridir. Birçok disiplin tarafından kullanılan, sayısız iş ve projelerde kullanılarak alanına kolaylıklar sağlayan bir teknoloji olmuştur. Ülkemizde bu teknoloji maliyetli olarak görülüp çok fazla çalışma alanı bulamamış olması aslında yapılacak olan işin daha uzun süre ve maliyetli olarak yapılmasına sebep olmaktadır. Gelişmekte olan bir teknik olduğu için ilerleyen zamanlarda daha geniş bir çalışma kitlesine ulaşacağı öngörülebilir. Yersel lazer tarama teknolojisi kullanıldığı birçok disipline kısa zamanda geniş ve girilmesi zor alanları tarayarak verileri yüksek çözünürlük ve kalitede ortaya koyabilmektedir. Kullanım alanlarının çeşitli olması en büyük avantajlarından biridir. Gerçekleştirilen çalışmanın amacı yersel lazer tarama işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar ve tarama işlemi sırasında tekniğin eksi ve artı yönlerini ve bu noktada ortaya çıkan eksiklerin çalışma alanına etkisi, elde edilen verinin bu eksikliklerden etkilenmesi ve farklı ölçüm metotları ile çevresel faktörlerin bu tekniği etkilediği yönleri öğrenilmeye çalışılmıştır.

Use of Terrestrial Laser Scanning Technology in Complex Structures and Areas

Keywords

Terrestrial laser scanning,
Photogrammetry,
3D model,
Point cloud.

ABSTRACT

As a result of scientific and technological developments, many new technologies, software and hardware are emerging. These technological developments show themselves in every field and provide convenience in related fields. Terrestrial laser scanning technique is one of these technologies. It has become a technology that is used by many disciplines and provides convenience to its field by being used in countless works and projects. The fact that this technology is seen as costly in our country and cannot find many working areas actually causes the work to be done for a longer time and more costly. Since it is a developing technique, it can be predicted that it will reach a wider study audience in the future. Terrestrial laser scanning technology can reveal data in high resolution and quality by scanning large and difficult areas in a short time in many disciplines where it is used. The variety of usage areas is one of its biggest advantages. The aim of the study was to learn the points to be considered while performing the terrestrial laser scanning process, the minus and plus aspects of the technique during the scanning process and the effect of the deficiencies that occur at this point on the study area, the effects of the obtained data from these deficiencies, and the aspects that different measurement methods and environmental factors affect this technique.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(mucahitemre27@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-2454-9279

*(basgizeem@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9574-6280

Kaynak Göster / Cite this article (APA);

Oruç M E & Baş G (2021). Kompleks Yapı ve Alanlarda Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı. Türkiye Lidar Dergisi, 3(2), 39-47.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte fazla işgücü gerektiren, zaman alan ve maliyeti yüksek yöntemler yerini yeni teknolojik yöntemlere bırakmaya başlamıştır (Erener & Yakar, 2012; Alptekin vd., 2019). Bu noktada da birçok disiplinde yersel lazer tarama tekniği kendini göstermeye başlamıştır. Lazer tarama yöntemi günümüz çalışmalarında, proje ve ölçüm işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Gerek haritacılık alanında gerekse diğer disiplinler tarafından kullanılması bu tekniğin, hedeflenen amaçlarda işe yarar bir katkı sağladığı görülmektedir (Yakar vd., 2009; Yılmaz vd., 2018). Yersel lazer tarama teknolojisi ile ilgili yapılan araştırmalar ve uygulama alanları incelendiğinde farklı farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Yakın zaman çizgisinde genel olarak lazer tarama teknolojisinin kullanım alanlarına bir bakış yapıldığında, bu teknoloji en çok harita mühendisliği olmakla birlikte mimari çalışmalar, arkeolojik eserlerin incelenmesi, tarihi eserlerin belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, kentlerin modellenmesi, olay yeri inceleme ve kriminoloji çalışmaları gibi alanlarda kullanılan büyük öneme sahip teknolojidir. (Sabuncu & Özener 2020).

Yersel lazer tarama teknolojisi 3B modellemeye ilişkin birçok alanda ya da multidisipliner alanlarda kullanılmakta ve kullanılmaya gelişerek devam etmektedir. Bu teknoloji çoğunlukla aşağıda verilen alanlarda kullanılmaktadır (Ulvi & Yakar 2014).

- Maden alanlarının modellenmesinde,
- Endüstriyel yapıların belgelenmesinde,
- Arkeoloji çalışmalarında,
- Mimarlık sektöründe,
- Otomotiv sektörü ve robotik çalışmalarda,
- CBS çalışmalarında,
- Kıyıların incelenmesi çalışmalarında,
- Volkanik faaliyetlerin analizinde,
- Deformasyon incelemede,
- Çevresel çalışmalarda,
- Tarihi ve kültürel eserlerin belgelenip modellenmesinde,
- Ormancılık ve orman amenajman planlama çalışmalarında (Oruç & Öztürk 2021),

Bu uygulamada lazer tarama teknolojisinin etkisini en iyi şekilde görmek için uygulamada hem çeşitli objelerin olması hem de genel olarak bölgenin yüzey alanında ve geometrik yapısında benzerliklerin olduğu bölge tercih edilmiştir. Bu doğrultuda lazer tarama teknolojisinin taramalar sonunda verileri işleme nasıl kabiliyet gösterdiği görülmek istenmiştir. Bu çalışmada kompleks bir yapı tercih edildiği için yapının üst kısımlarına lazer ışınları ulaşamadığı için bu noktalarda veri elde edilememiştir. Ama bu gibi durumlarda İHA sistemleri ile yukardan çekilen fotoğrafların

modellenmesi ve lazer verileri ile entegre edilmesi sonucu bu açıklık kapatılabilmektedir (Hamal vd. 2020).

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı yersel lazer tarama işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususları, işlem esnasında tekniğin eksi ve artı yönlerini ve bu noktada ortaya çıkan eksiklerin çalışma alanına etkisini, elde edilen verinin bu eksikliklerden etkilenmesini ve farklı ölçüm metodları ile çevresel faktörlerin bu tekniği etkilediği yönleri öğrenmeye çalışmaktır.

3B veri işleme ve veriyi görselleştirmedeki gelişmeler, yapılan taramalar sonucunda üretilen büyük miktarlardaki nokta bulutlarını ve bunun içinde nokta verisini kullanılabilir hale getirmiştir. Uygulamada birçok alanda karşılaşılan ya da karşılaşılabilecek sorunları çözmek ve bunların gerçek modellerini elde etmek için ölçümler yapmak ve bu ölçümleri tamamlamak gerekir (Yılmaz & Yakar, 2008). Bu ölçümler sonucu yapılan modelleri inceleyerek, ölçülen nesnelere hakkında yeni bilgileri öğrenilebilecektir. 3B Modelleme sürecinde elde edilen tematik ve geometrik bilgiler, taranan obje hakkında karar vermeyi sağlamakta ve bu süreçte yardımcı olmaktadır (Reshetyuk, 2006).

Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajları arasında çevredeki obje geometrisini hızlı ve detaylı bir şekilde doğrudan, alanı olduğu gibi yakalama özelliği girilmesi ve ölçülmesi zor alanlarda ölçüm yaparak maliyet açısından giderlerde önemli derecede azalma sağlaması (Zeybek & Şanlıoğlu 2015; Yakar vd., 2010), çok daha hızlı bir şekilde geniş alanlarda projenin hızlı ve hassas doğruluklarda sonuca ulaştırılması, klasik ölçme tekniklerinin yetersiz kaldığı, karışık, ulaşılması zor ve tehlike içeren bölgelerde ölçüm yapabilme özellikleridir. Tarama yapma işlemi sırasında çevre aydınlatmasına gerek olmadığı için günün herhangi bir zamanında tarama yaparak detayları tek ölçümde elde etme ve verilerin çeşitli amaçlarda kullanılması büyük avantaj sağlamaktadır (Reshetyuk, 2006). Bir proje gerçekleştirirken yersel lazer tarayıcı kullanımı proje sürecini ve projelerin kalitesini önemli ölçüde etkiler. Yersel lazer tarayıcı çalışma yaparken gerçek modele olabilecek en yakın modeli oluşturmak, tarama işlemi sonunda ortaya çıkacak hataları minimum düzeye indirmek, doğruluğu artırmak ve kaliteli bir model oluşturmak için diğer ölçme teknikleriyle birlikte kullanılabilir. Yersel lazer taramada elde edilen veriler yüksek hassasiyet içeren birçok işte kullanılmaktadır. Kullanılan her ölçme tekniğinde olduğu gibi lazer tarama sonuçlarında da hata oluşabilmektedir. Hataların tespiti elde edilen kalite için oldukça önemlidir. Kaliteyi etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır.(Gümüş vd. 2009).

Yapılan çalışmada yersel lazer tarayıcının kullanımı hususunda dikkat edilmesi gereken noktalara dikkat çekilmiştir. Birçok alanda olduğu gibi uygulamanın avantajları ve dezavantajları vardır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Mersin Üniversitesi yerleşkesi içerisinde bulunan kompleks bir yapıda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Uygulamada LiDAR yöntemlerinden olan yersel lazer tarama tekniği kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan lazer tarayıcı FARO Focus 350S modeli bir tarayıcıdır. Kullanılan lazer tarayıcının özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

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

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

Lazer tarayıcıların ölçme prensibi ölçülecek nesnelere, alanlara direkt olarak temas etmeden yüksek duyarlılıkla otomatik bir şekilde bütün detaylarını detay noktalarını kapsayan koordinatlarının mesafe ölçümü ile hesaplanması çalışmasıdır. Yapılan çalışmada FARO Focus 350S aleti kullanılmıştır. Kullanılan bu yersel lazer tarama aletinin çalışma prensibi faz karşılaştırma yöntemidir. Faz karşılaştırma yönteminde, tarama cihazı ile taranacak nesne arasındaki mesafe, yayılan ve yansıyan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanmaktadır (Sabuncu & Özener 2020).

Bu yöntemde, aletten çıkan ve nesneden yansıyan ışının sinüs dalgasına göre karşılaştırması yapılır ve faz

farkı hesaplanarak belirlenmiş olur (Vosselman & Maas, 2010; Karasaka 2012; Beg 2018). Böylelikle lazer tarayıcı ile taranacak nesne arasındaki mesafe, gönderilen sinyal ile alınan sinyal arasındaki faz farkının hesaplanması sonucunda bulunmaktadır (Çelik vd. 2020).

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

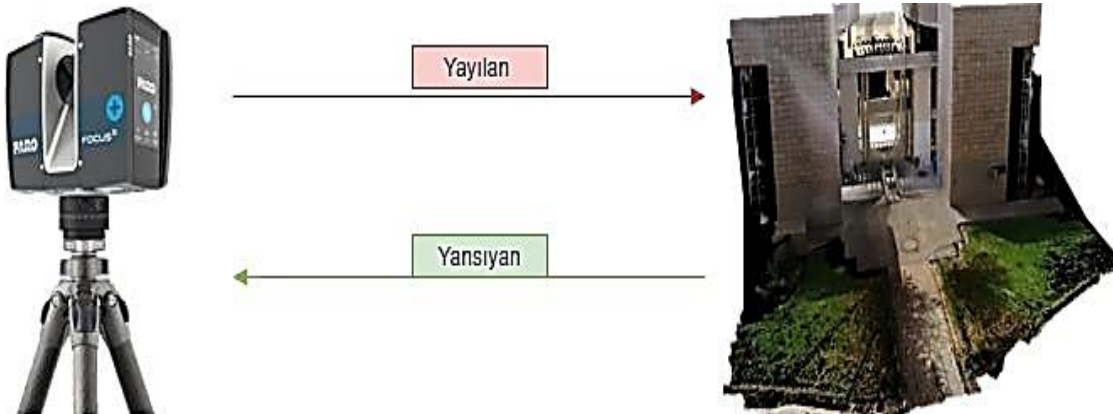
$$\rho_{\text{sinyal}} = c * \frac{t_y - t_a}{2} \quad (2)$$

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

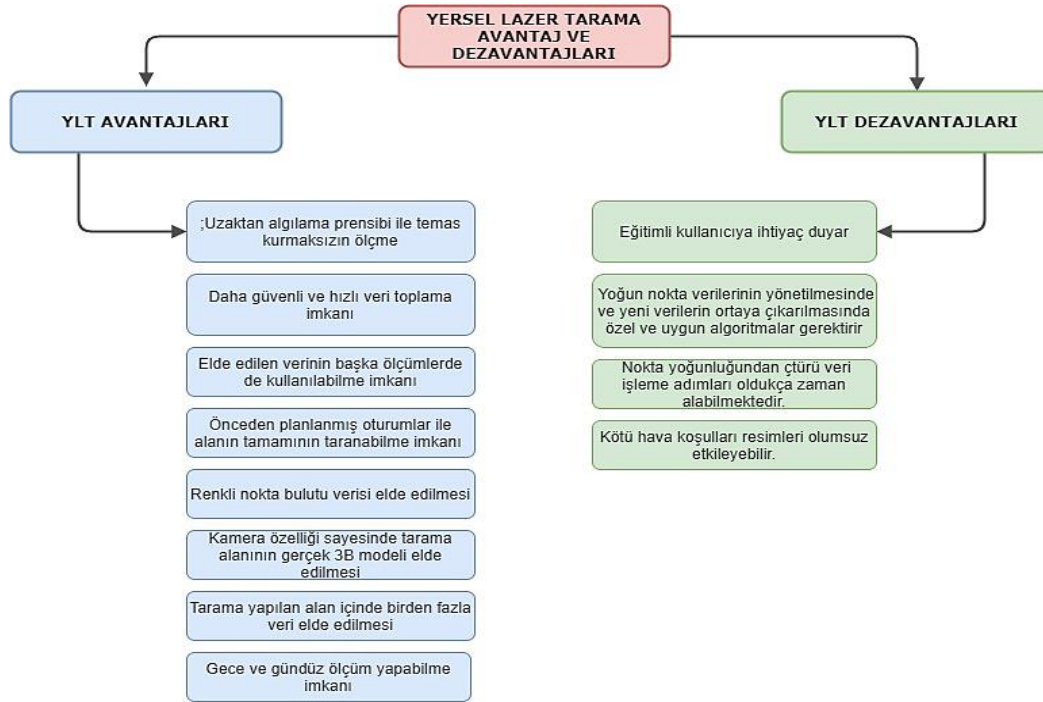
$$R_{\text{faz}} = \frac{\Delta \phi}{4\pi} * \lambda \quad (4)$$

Yukarıda ki eşitliklerde faz farkı ölçüm formülleri verilmiştir (Eşitlik 1, 2, 3). Zaman farkı (Δt) (Eşitlik 7), gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki faz farkı ($\Delta \phi$) ve sinyal periyodu arasındaki faz farkı olan λ/c ile formülize edilmektedir. (Karasaka & Beg 2021; Çelik vd. 2020). Faz mesafesinin hesaplanması ise eşitlik 4 ile elde edilmektedir.

YLT tekniğinin uygulamalarda birçok yönden kolaylık sağladığı bilinmektedir. Ama bu tekniğin avantajları çok olsa da dezavantajı bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte dezavantajları daha aza indirilebilir ve daha iyi çalışma koşullarında veri elde edimi sağlanabilir.



Şekil 2. Faz karşılaştırma yöntemi gösterimi



Şekil 3. YLT tekniği avantaj ve dezavantajları (Sabuncu & Özener 2020)

4. UYGULAMA

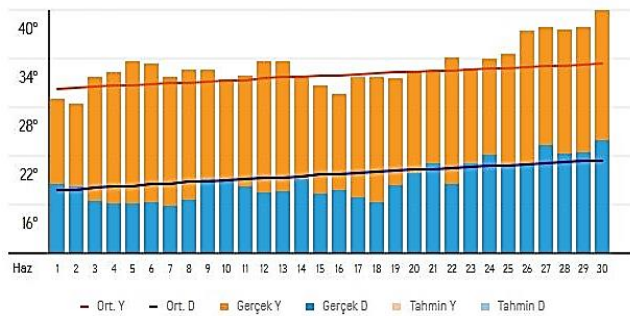
4.1. Arazi çalışması

Arazi çalışması için önce bu araştırmanın amacına uygun bir alan seçilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada farklı cisimlerin olması, ölçüm alanının farklı geometrik yapısının ve benzer yüzey, renk ve özelliklerinin olmasına dikkat edilmiştir.

Tarama işlemlerine başlamadan önce belirlenen araziye referans noktaları tesisi işlemi uygulanmıştır. Daha sonra total-station ile uygulama alanına tesis edilen referans noktalarının okuması yapılmıştır. Tarama işlemi yapılırken günün sabah saatlerinde tarama işlemine başlanıp öğle saatlerinde de ölçüm gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede cihazın farklı sıcaklık ve basınçlarda nasıl performans göstereceği belirlenmek istenmiştir. Öncelik olarak tarama yapılacak güne ait meteorolojiden basınç ve sıcaklık değerleri alınmıştır.

SICAKLIK GRAFİĞİ

°C



Şekil 4. Uygulama tarihi ortalama sıcaklık grafiği (URL1)

Tablo 2. 15.06.2021 hava durumu değerleri (URL 2)
15 Haziran 2021

Sıcaklık	Gündüz 28 ⁰
	Gece 24 ⁰
	Hissedilen 27 ⁰
Basınç	981 hPa
Rüzgâr	6.5 km/s

Tüm planlama ve hazırlık işlemleri tamamlandıktan sonra lazer tarayıcı taraması yapılan alanın tamamını tarayacak şekilde oturumlar ile ölçümlere başlanmıştır. Toplamda 6 oturum yapılarak istenilen alanın tamamının taraması yapıldı. Her bir oturum süresi yaklaşık 30dk, çözünürlük değeri 1/2, kalite değeri ise 4x olarak ayarlanmıştır. Sürenin ayarlanması cihazın tarama sırasında ki kalite ve çözünürlük performansından kaynaklanmaktadır. Kalite ve çözünürlük azaldıkça her bir tarama süresi de düşmektedir. Yapılan önceki ölçümlerde düşük kalite ve çözünürlük değerlerinde istenilen kalitede sonuçlar elde edilememiştir. Bu uygulamada kullanılan değerler optimum değerler olarak seçilmiştir. Cihazın bizlere sağladığı diğer yüksek çözünürlük ve kalite seçenekleri ile yaklaşık olarak 1 saatlik ve 2 saatlik oturumlarda daha net ve kaliteli sonuçlar elde edileceği görülmüştür. Ama bu oturum sürelerinin uzun olması ve hava sıcaklığının da etkisiyle cihazın ısınarak ölçüm işleminin yarıda kaldığı ve cihazın çalışma sıcaklığına geri dönmesinin beklendiği durumlar gözlenmiştir. Hava sıcaklıklarının normal olduğu zamanlarda etkili bir performans sergilese de yaz aylarında hava sıcaklıklarının fazla olması, cihazın çalışma esnasında ki ısınma durumunu tetiklemektedir. Bu da araştırmacıya ısınan cihazın tekrar tarama yapabilir hale gelmesi süresinde bir zaman kaybı oluşturmaktadır.

Seçilen tarama kalitesi ve çözünürlük değerleri ile ölçüm işlemleri sorunsuz olarak gerçekleştirildi. Ve veriler işlenmesi için bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

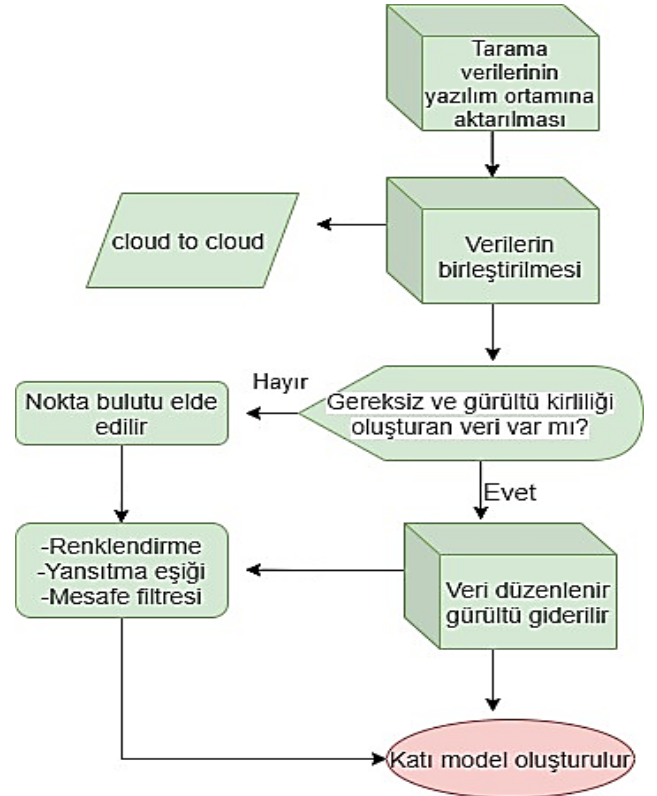
4.2. Verilerin işlenmesi

Tarama verileri arazi ortamından elde edildikten sonra uygun bir yazılım olan FARO scene yazılımında işlenmesi için bilgisayar ortamına ve ilgili yazılıma aktarılmıştır. İlk işlem olarak tarama verisi yazılıma tanıtılmış ve tarama verileri uygun metotlar ile birleştirilmiştir.

Faro Scene yazılımı, bütün Faro Focus ve bununla birlikte diğer 3B tarama gerçekleştirebilen lazer tarayıcılar için geliştirilmiştir. Faro scene yazılımının özelliklerinden gerçek zamanlı tarama, nesnelere

otomatik olarak tanıma, taramaların kaydını oluşturma gibi özellikleri sayesinde tarama sonucunda elde edilen veriler etkin ve basit bir şekilde işlenebilmektedir (Karasaka & Beg 2021).

Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen tarama verileri yazılıma aktarılarak veri işleme (process) aşamasına geçilmiştir. Taramalar, nokta bulutuna (cloud to cloud) tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Nokta bulutu verisi ilgili alanın dışında, istenilen bölgenin haricinde de birçok dağınık ve gereksiz veri yani gürültü kirlilikleri içermektedir. Bu gürültü kirliliğine sebep olan veriler temizlenmiştir. Alana ait daha sağlıklı, doğru, hassas ve kaliteli 3B model oluşturabilmek için yapılan bu işleme gürültü giderme işlemi denilmektedir (Uzar vd. 2019, Çelik vd. 2020). Elde edilen nokta bulutu üzerinden katı bir model oluşturulmuştur. İstenirse noktaların TLS yöntemi ile koordine edilmesi ve 3 boyutlu modeller üretilerek kesin veriler elde edilebilir (Kaya et al. 2021).



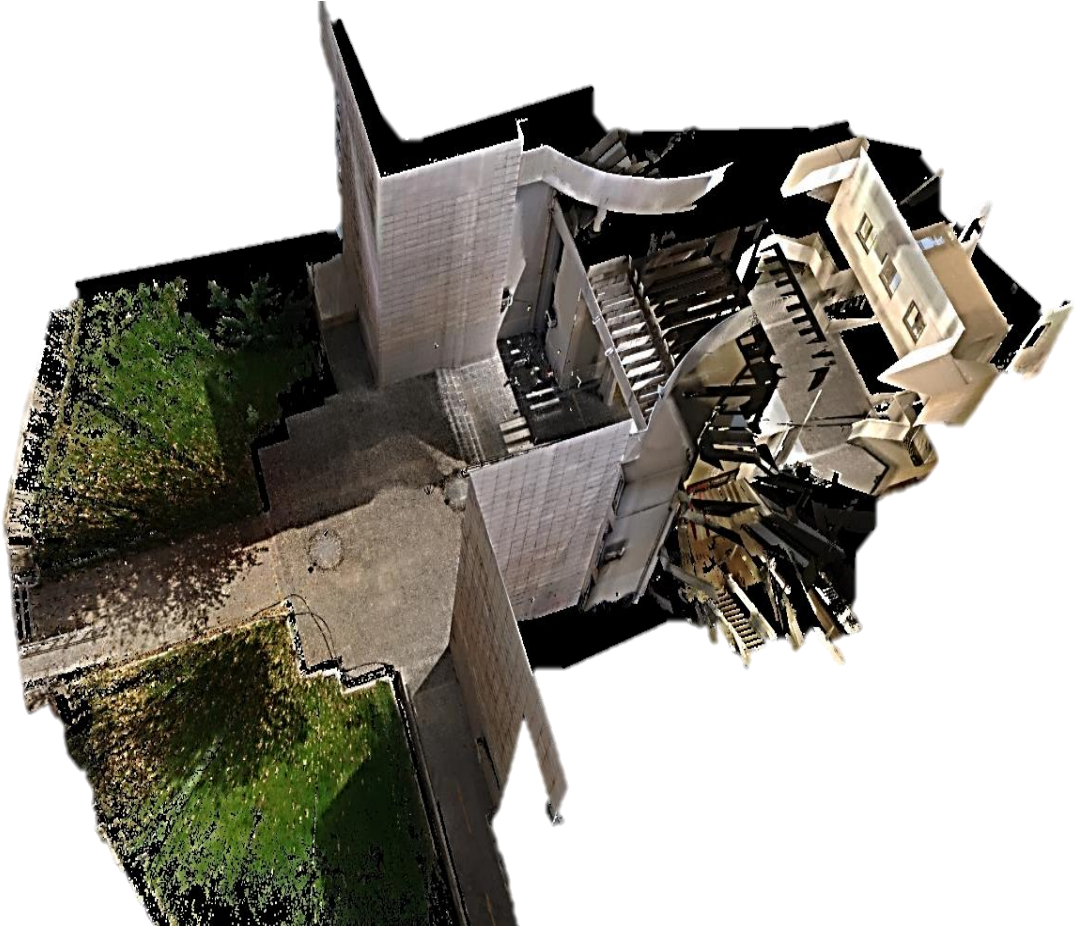
Şekil 5. Veri işleme aşamaları

5. BULGULAR

Tarama ve verilerin işlenmesi aşamaları tamamlandıktan sonra renkli nokta bulutu ve katı model oluşturulmuştur.



Şekil 6. Oluşturulan nokta bulutu

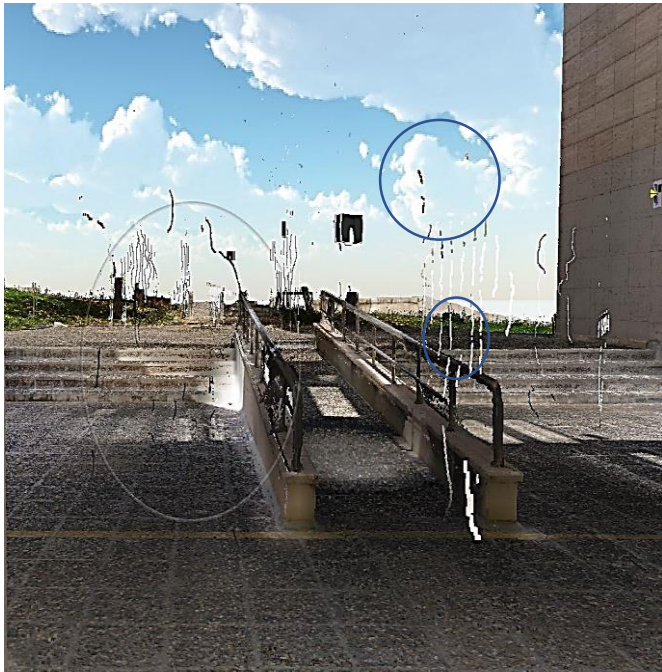


Şekil 7. Oluşturulan katı model

Yapılan taramalar esnasında lazer tarama metodunun eksi ve artıları değerlendirilmiştir. Tarama süresi boyunca lazer tarayıcının kapsadığı alanın içerisinden geçen insanların oluşturduğu gürültü kirlilikleri veri işleme aşamasında kaliteli bir sonucun elde edilmesini engellemiştir. Bu gürültü kirliliklerinin temizlenmesi uzun uğraşlar gerektirmektedir.



Şekil 9. Güneş ışınlarının yansımalarının nokta bulutuna etkisi



Şekil 8. Veri işleme aşamasında nokta bulutunda ortaya çıkan gürültü kirlilikleri

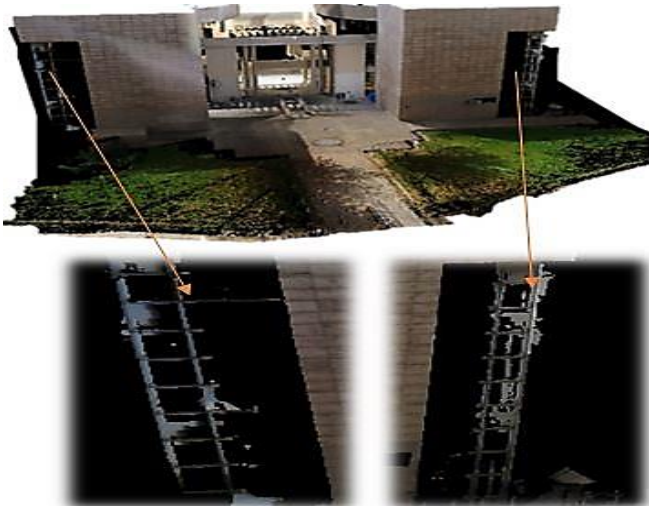
Yukarıdaki şekilde güneşin yoğunlaştığı bir noktaya atılan lazer sinyallerinin geri yansımaya değerlerinin az olması sinyalin saçılarak bölgeye ait verinin detaylarının çıkmamasına sebep olmuştur. Güneş ışınları o noktada parlama yaparak alanın parlamasına sebep olmuştur. Beyaz yüzeylerde yansımaya çok fazla meydana gelirken

siyah yüzeylerde daha az olmaktadır. Renk çeşitliliği fazla olan yüzeylerde yansıma etkisi olarak lazer aletinin spektral özellikleri de önem arz etmekte ve buna göre değişiklik göstermektedir (Boehler vd. 2002). Bu da veri işleme noktasında lazer cihazında bulunan yüksek çözünürlüklü kameranın resim çekme aşamasında güneş ışınlarının nüfuz ettiği alanın yansıma yaparak ilgili yüzeyin detay noktalarının ortaya çıkmasını engellediği görülmüştür.

Bu gibi durumlarda cihazın bizlere sağladığı güneşin havada konumlanmasına göre seçim şansı verdiği üç seçenek mevcuttur. Bu seçenekler güneşin ufuk çizgisi, başucu ve eşit ağırlıklı olmak üzere güneşin geliş noktasına göre seçim yapmamıza imkân vermektedir. Başucunda güneş en tepedeyken, güneşin yeni doğması ve batmaya başlaması aşamalarında ufuk çizgisi düzlemi, güneş tam tepe noktasında ise başucu seçeneği seçilerek aletin güneş ışınlarına göre kendini ayarlaması ve kaliteli veri elde edilmesi yönünde ayarlanması sağlanır. Burada meydana gelen durum bu seçimlerin uygun seçimin yapılmamasından kaynaklanabileceği ön görülmüştür.

Veriler işlendikten sonra ortaya çıkan sorunlardan biri de çalışma alanında bulunan bazı objelerin sinyal yansıtımının saçılarak alete gelmesi gereken verinin tam anlamıyla gelmeyerek saçılmasından meydana gelmektedir. Bu saçılmalar nokta bulutu verisinde gürültü kirlilikleri de oluşturabilmektedir. Genellikle bu objeler cam yüzeyler (şekil 10) , alüminyum gibi parlak metal yüzeyler (şekil 11) olarak görülmüştür.

Bu noktadaki hatalar, taranan objeler ile alakalıdır. Bu hataların en önemli kaynağı, ışının çarptığı objenin geri yansıtım oranlarındaki değişikliklerden meydana gelmektedir. Yersel lazer taramada bu gibi durumların ortaya çıkması yansıma durumuna bağlı olduğu belirtilebilir (Reshetyuk, 2006). Yansıtım değerleri, gönderilen sinyal ile lazer cihazına gelen sinyalin gücü arasındaki oran olarak tanımlanabilir. Objenin materyal özellikleri, elektrik aktarması ve iletkenliği, objenin dış kısmının rengi, lazerin dalga boyu lazer ışınının geldiği açı, yüzeyin yapısı ve nemi gibi faktörler önem arz etmektedir (Lichti & Harvey, 2002; Ingensand, 2006; Reshetyuk, 2006; Staiger, 2005) Nokta bulutunda bu cisimlerin şekillerinin bozuk veya bazı açılarda hiç veri alınmadığı görülmüştür.



Şekil 10. Cam yüzeylerde bozulmalar



Şekil 11. Metalik, parlak yüzeylerde bozulmalar

6. SONUÇLAR

İlerleyen teknoloji her alanda olduğu gibi ölçme sistemleri ve aletlerinde büyük gelişim sağlamıştır. Bununla birlikte son zamanlarda yersel tarama teknolojisinin kullanımı oldukça artmıştır. Olabilecek en az maliyetle ve zamanla hızlı, kaliteli 3B boyutlu bilgiye ulaşmak önem arz etmektedir. Yersel lazer tarama da bize bu imkânı sağlamaktadır. Günümüzde birçok sektörde sağladığı imkânlar nedeniyle yersel lazer tarama kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yersel tarama teknolojisi kullanılırken nelere dikkat edilmeli ve bu teknolojinin avantajı ve dezavantajı görülmeye çalışılmıştır. Çalışma alanı olarak Mersin Üniversitesi yerleşkesinden bir bölge seçilmiştir. Kullanılan lazer tarayıcı FARO Focus 350S, yazılım ise Faro Scene yazılımıdır.

Tarama sonucunda yüksek kalitede ve çözünürlükte veriler elde edilmiştir. Ölçüm yapılırken cihazın hava sıcaklığından etkilendiği gözlenmiştir. Bu da zaman kaybına neden olmuştur. Tarama esnasında oluşan gürültü verileri esas istenen verinin kalitesini etkilemiştir. Güneşin fazla olduğu noktalarda oluşan parlaklık nedeniyle detayların fazla çıkmadığı görülmüştür. Tarama ortamında bulunan cam vb. objelerin ise lazer ışınının saçılmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda bu gibi eksiklikler çıksa da yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan deformasyonların giderilmesine olanak sağlayan yazılım ve programlar olsa da daha da gelişerek iyi sonuçlar veren yazılımların ortaya çıkması gelişen teknoloji ile birlikte beklenen bir durum olarak görülmektedir.

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, Doğan Y & Yakar M (2019). Mapping of a rockfall site with an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 12-16.

Beg A A (2018). 3 Boyutlu Modellemede Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları Verilerinin Entegrasyonu ve Kilistra Antik Kenti Örneği. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Boehler W, Vicent M B & Marbs A (2003). Investigating laser scanner accuracy. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5), 696-701.

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.

Erener A & Yakar M (2012). Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310-314.

Gümüş K, Erkaya H & Tunalıoğlu N (2009). Yersel Lazer Tarama Verilerinde Çevresel Ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 137-138.

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.

Ingensand H (2006). Methodological aspects in terrestrial laserscanning technology, 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Karasaka L & Beg A (2021). Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Farklı Geometrik Yapıdaki Özelliklerin Modellenmesi. *Geomatik*, 6(1), 54-60. DOI: 10.29128/geomatik.664728

Karasaka L (2012). Mobil Yersel Lazer Tarama Sistemlerinin Fotogrametrik Rölöve Projelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma. Doktora Tezi. Konya, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Reshetyuk Y (2006). Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodetic engineering, 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Sabuncu A & Özener H (2020). Mimari Dökümantasyonda Yersel Lazer Tarama Teknolojisi Kullanımı: Tarihi Sismoloji Binası Örneği. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 45-52.

Staiger R (2005). The Geometrical Quality of Laser Scanner (TLS). In *Proceedings of FIG Working Week*, 1-11 and GSDI-8, 16-21 Nisan, Kahire, Mısır.

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. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hartek/issue/7589/99627>

Ulvi A (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.

Uzar M, Tunalıoğlu N, Arıcan D & Arda T (2019). Yersel lazer tarama verisi ile elde edilen 3B modellerde filtreleme etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 1765-1776. DOI: 10.17341/gazimmfd.571546.

Vosselman G & Maas H (2010). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. CRC.

Yakar M, Yıldız F & Yılmaz H M (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.

Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu H M (2009). Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu O (2010). Comparative Evaluation of Excavation Volume by TLS and Total Topographic Station Based Methods. *Lasers in Engineering* 19(5-6), 331-345.

Yılmaz H M & Yakar M (2008). Computing of Volume of Excavation Areas by Digital Close Range Photogrammetry. Arabian Journal for Science and Engineering 33 (1A), 63-79.

URL1:<https://www.accuweather.com/tr/tr/mersin/317935/june-weather/317935>

URL2:<https://yandex.com.tr/hava/mersin/month/june>

Yılmaz H M, Mutluoğlu Ö, Ulvi A, Yaman A & Bilgilioğlu S (2018). İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Kampüsü Örneği. Geomatik Dergisi. 3(2), 129-136.

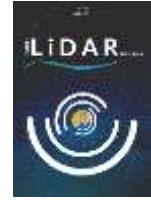
Yılmaz H M, Yakar M, Mutluoğlu O, Kavurmacı M M & Yurt K (2012). Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (Selime-Aksaray-Turkey). Environmental Earth Sciences, 66(1), 75-81.

Zeybek M & Şanlıoğlu İ (2015). Accurate determination of the Taşkent (Konya, Turkey) landslide using a long-range terrestrial laser scanner. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(1), 61-76.



© Author(s) 2021.

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



Yersel Lazer Tarama Teknolojileriyle Oluşturulan 3B Modellerin Akıllı Kent Uygulamalarında Kullanımı: Mersin Süslü Çeşme Örneği

Doğa FİDAN^{*1}, Şafak FİDAN²

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

² Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

3B Kent Modelleri,
Yersel Lazer Tarama,
Kent Bilgi Sistemleri,
Kentsel Yapılar,
3B Modeller.

ÖZ

Üç boyutlu (3B) akıllı kent modelleri, kentleri insanlara tanıtmının etkili bir yoludur ve navigasyon, turizm, tanıtım, kent planlama, görselleştirme gibi pek çok farklı uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kentsel çevrelerdeki düzensiz kentsel yapılar ya da belirli insan dinamikleri gibi çeşitli etmenler nedeniyle 3B veriye erişim aşamasında bazı teknolojilerin kullanımı sınırlanabilir. Yersel lazer tarama (YLT) yöntemi kentlerin 3B modellenmesinde sağladığı kolaylıklar sayesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu araştırma makalesi, kentlerin 3B sanal modellerinin üretilmesi için bir metodoloji önermektedir. Çalışmada, 3B kent uygulamalarında kullanılmak üzere bir yapının 3B modelini üretmek için, YLT teknolojilerinin kullanım olanaklarını araştırılmıştır. Çalışma alanı Mersin'in tarihi çeşmelerinden biri olan Süslü Çeşme olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında FARO marka FocusS 350 modelindeki YLT ile toplanan veri setleri SCENE yazılımında işlenmiş ve 3B model üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yüksek geometrik doğruluğa ve görsel bütünlüğe sahip bir 3B sanal model elde edilmiştir.

The Use of 3D Models Created with Terrestrial Laser Scanning Technologies in Smart City Applications: The Example of Süslü Fountain in Mersin

Keywords

3D City Models,
Terrestrial Laser Scanning,
City Information Systems,
Urban Constructions,
3D Models.

ABSTRACT

Three-dimensional (3D) smart city models are an effective way of introducing cities to people and are widely used in many different applications such as navigation, tourism, publicity, urban planning and visualization. However, due to various factors such as irregular urban structures in urban environments or certain human dynamics, the use of some technologies may be limited in the stage of accessing 3D data. Terrestrial laser scanning (TLS) method has become a frequently used method thanks to the convenience it provides in 3D modeling of cities. This paper proposes a methodology for generating 3D virtual models of cities. In the study, the possibilities of using TLS technologies were investigated to produce a 3D model of a building to be used in 3D urban applications. The study area was determined as Süslü Fountain, the historical fountain of Mersin. Within the scope of the study, the data sets collected with TLS in the FARO brand FocusS 350 model were processed in SCENE software and 3D model production was successfully carried out. As a result, a 3D virtual model with high geometric accuracy and visual integrity was obtained.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(dogafidan.61@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0856-5594
(safakfidan@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9772-0968

Kaynak Göster / Cite this article (APA);

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.

1. GİRİŞ

Küresel kentleşme, günümüzde dünyanın en zorlu sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Kentlerdeki nüfusun giderek artması yerleşim merkezlerini birçok sorunla karşı karşıya getirmiştir. Bunların başında nüfus, trafikteki araç sayısının artması, son yıllarda yaşanan plansız kentleşmeler, buna paralel gerçekleşen kentsel dönüşüm, toplum güvenliği gibi sorunlar gelmekte ve kentlerin yönetimini giderek zorlamaktadır. Karmaşık yapılar olan kentlerin yönetiminde yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlerin üretilmesi gereklidir (Yakar vd., 2009; Yakar vd., 2010; Su vd. 2011; Yılmaz vd., 2012; 2018).

Kolay erişilebilir, konum bilgisi sağlayan, halka açık ve gerçekçi akıllı kent modelleri başta kamu kurumları olmak üzere birçok kullanıcı için önemli bir ihtiyaçtır (Polat 2020). Akıllı kent modellerinin oluşturulmasında farklı disiplinlerin beraber çalışmasıyla kentleri daha yaşanabilir hale getirmek ve sorunlar karşısında stratejik çözümler üretilebilecek altyapıyı oluşturmak olanaklıdır. Mevcut durumun değerlendirilmesi ve sürdürülebilir stratejilerin belirlenmesi kentlerin yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır (Keleş & Aydın 2020). Hızla gelişen teknoloji ve internetin yaygınlaşmasıyla beraber bilim insanları ve şirketler bu sorunları çözmek amacıyla akıllı kent modellerinin oluşturulması ve sunumu için çalışmalara başlamıştır. Bu kapsamda 3B sanal ve coğrafi modeller gibi yeni mekânsal bilgi teknolojileri ortaya çıkmış ve bu teknolojiler günümüzde de geliştirilmeye devam etmektedir (Yılmaz vd., 2008; Özerbil vd. 2014).

Akıllı kent kavramı, kentin yönetimi ve hizmet gibi alanlarda bilgi ve iletişim teknolojilerinin desteği ve vatandaşların tam katılımı ile beraber teknolojilerin kente entegre edilmesini hedefleyen bir kavramdır. Ayrıca sınırlı kaynakların stratejik bir biçimde yönetilmesini sağlamaktadır. Diğer bir deyişle, kentin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini tasarlayan, doğal kaynakların ve kentte sunulabilecek kamu hizmetlerinin tamamının katılımcı yönetimle düzenlenmesini öngören bir teknolojidir (Aslan & Bulut 2019).

Akıllı kent uygulamaları bugün; kentsel planlama, gerçek zamanlı haritalama ve simülasyonlar, kentsel planlama ve gelişim, kamu güvenliği ve şehir hizmetleri, yapılar ve afet yönetimi, lojistik, endüstriyel ve ticari faaliyetler, güvenlik, telekomünikasyon planlaması, acil durum ve müdahale planlamaları, konum tabanlı hizmetler ve emlak ve eğlence hizmetleri gibi kentsel alanda pek çok farklı alana katkı sağlamaktadır (Kostrikov 2019). Bu uygulamalar, kent sakinleri veya ziyaretçileri ile bilgi ve etkileşimini genişletmek için mükemmel araçlardır (Balsa-Barreiro & Fritsch 2018). Ayrıca akıllı kent modelleri, kentlerin tarihi, mimari ve kültürel yönlerini de ortaya koyduğu için değerli bir araçtır. Bu nedenle yerel yönetimler kendi 3B akıllı kent modellerini oluşturma çalışmalarına başlamıştır (Yastıklı & Çetin 2016; Şenol vd., 2021). Akıllı kent uygulamalarında, şehrin durumunu olabildiğince doğru bir şekilde ifade gereklidir. Kentin 3B modellemesi, kente akıllı çözümler gerektiren sorunların ilgili tüm yönlerini kapsmalıdır. Bu bağlamda 3B konumsal veriler, kent modelleri için kilit bir rol oynamaktadır (Jovanović 2020).

3B kent modelleme, son yıllardaki teknolojik gelişmeler nedeniyle kolay bir süreç olarak kabul edilmektedir. Ancak, gerçek nesnelerin veya tüm dünyanın sayısal modelini oluşturma işlemi halen büyük bir çaba gerektirmektedir (Sahin vd. 2012). Bu kapsamda teknik altyapının oluşturulması ve iyileştirilmesi hususunda kente ait verilerin hızlı ve güvenli bir biçimde toplanması oldukça önemlidir. 3B kent modellerini üretebilmek için öncelikle modellenecek bölge ile ilgili çeşitli kaynaklardan 3B mekânsal verilerin toplanması gereklidir (Metin 2016; Ernst vd., 2021).

Verilerin hem toplanması hem de işlenmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması sayesinde 3B modeller yaygınlaşmıştır (Ulvi vd. 2020). 3B modeller, alanların geometrik temsiline yanında, hesaplama, analiz kapasitesiyle farklı mekânsal detayları ve topolojik özellikleri sınıflandırıp birleştirebilirler. 3B modeller, navigasyon, turizm, kültürel miras, kentsel ve çevresel planlama gibi farklı uygulamalarda kullanılabilirler (Yakar vd. 2005; 2015). 3B kent modelleri, kentsel çevrenin geometrisinin küçük ölçekli 3B temsilidir ve birçok alana uygulama potansiyeli nedeniyle çok daha fazla ilgi görmektedir (Döllner vd. 2006; Biljecki vd. 2015; Yastıklı & Çetin 2016).

Modellemede şehrin en temel unsurları; binalar, yollar, yeşil alanlar ve su alanlarıdır. Özellikle kent yapıları içerisinde binalar temel objeler olarak ele alınmakta ve daha çok binaya odaklanılmaktadır. Bu bağlamda kent yapıları hakkında 3B bilgiler edinerek bu bilgilerin dijital ortamda gerekli veri formatlarında kullanıma sunulması gerekmektedir (Erener & Yakar, 2012; Kaya vd., 2021).

Kentler üzerinde yapılan uygulamalar ilk başta iki boyut üzerinden gerçekleştirilirken, gelişen bilgisayar teknolojileri, artan veri çeşitliliği ile beraber bu süreç zamanla üçüncü boyuta taşınmıştır. Mekânsal bilgilerin 3B görselleştirilmesiyle beraber mekânsal içeriği kavrama ve algılamaya aşaması daha da kolaylaşmaktadır (Ulvi & Yakar 2014). Kentsel tasarım ve planlama çalışmalarında kullanılmak üzere 3B modeller elde etmek için kaliteli (yeterli doğrulukta ve görsel zenginlikte) ekonomik ve güncel verilere ihtiyaç vardır (Hamal vd. 2020). Günümüzde 3B modeller elde etmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. 3B kent modellerinin oluşturulması kapsamında en çok kullanılan iki yöntem LİDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) ve fotogrametri yöntemidir.

LİDAR ölçme tekniği, öncelikle cansız doğa, bitki örtüsü ve insan yapımı yapılar (binalar) olmak üzere yer yüzündeki tüm özelliklere ilişkin ham verilerin toplanmasını sağlar (Kostrikov 2019). LİDAR farklı amaçlar için yoğun olarak kullanılan aktif bir sensör teknolojisidir. Bu teknoloji uzaydaki nesnelerin konumunu ve şeklini doğru bir şekilde ölçmek için en güvenilir teknolojilerden biridir (Balsa-Barreiro & García, 2006; Heritage & Large 2009; Balsa-Barreiro & Fritsch 2018). LİDAR sistemlerinin üretilmesi ve yaygınlaşmasıyla beraber hem yerel hem de bölgesel ölçekte mekânın algılanması araştırmacılar için daha da kolaylaşmaktadır. Günümüzde lazer tarama yöntemleri, hızı ve yüksek doğruluğu sayesinde 3B modelleme çalışmalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir (Sahin vd. 2012).

Ullah vd. (2020) Akıllı kentlerin gelişiminde yapay zekanın rolünü araştırmıştır. Çalışmada, akıllı ulaşım sistemleri, siber güvenlik, enerjinin verimli kullanımı gibi konularda insansız hava araçlarının etkin bir şekilde kullanımı üzerinde durulmuştur. Akıllı bir kentte 5G ve 5G üstü iletişim ile beraber, akıllı sağlık sisteminin hizmetlerini kesintisiz sağlamak ve geliştirmek için insansız hava araçlarının kullanımı önerilmiştir.

Vu ve Kaddoum (2017) Akıllı kentlerde atık yönetim uygulamaları üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada tasarlanan model, atığın hacim verisini internet üzerinden algılamakta, ölçmekte ve ilgili merkeze iletmektedir. Çöp kutusunun coğrafi konumu ve seri numarası dahil olmak üzere toplanan veriler, regresyon, sınıflandırma ve grafik analizlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak çöp kutularının konumları sınıflandırılarak atık durumu tahmin edebilir ve izlenebilir hale gelmiştir. Bu çalışmada tasarlanan model sayesinde atık toplama işlemi dinamik ve verimli bir şekilde yönetilebilecektir. Ayrıca uygulamada çöp kamyonunu verimli bir şekilde organize etmek için rotanın optimizasyonu otomatik olarak sağlanmaktadır.

Zeybek (2020) Kentsel alanlardaki enerji nakil hatlarının kestiriminde mobil lazer tarayıcıları kullanmıştır. Elde edilen nokta bulutu verileri istatistiksel yöntemler kullanılarak modellenmiştir. Üretilen nokta bulutları enerji nakil hatlarının 3B şekilde görselleştirme özelliğine sahiptir. Ancak gürültülü noktalar nedeniyle hassas verilerin üretiminde bazen zorluklarla karşılaşılabilir. Çalışmada bu gibi problemlerin önüne geçmek amacıyla 2 temel aşama önerilmiştir. Birinci aşamada, nokta bulutu verilerinin voksel tabanlı algoritmaya seyretilmesi ve sınıflandırılmasıdır. İkinci aşama ise noktaların mesafe temelli algoritmaya gruplanarak nakil hatları için doğrusal olmayan modellerin kestirilmesi. Kullanılan yöntemin verimliliği ve doğruluğu uygulama aşamasında araştırılmıştır. Önerilen yöntem ülkemizdeki enerji nakil hatları envanter verisinin toplanmasına katkı sağlayabilecektir. Ayrıca gerekli mühendislik çalışmalarının yapılmasında kaynak sarfiyatının önüne geçebilme potansiyeline sahiptir.

Mahdianpari vd. (2021) Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak akıllı kentler için çözümler önermiştir. Çalışmada; Kanada Newfoundland, St. John's City'deki sulak alanların haritalama ihtiyacının giderilmesi üzerine bir uygulama yapılmıştır. Bir kentsel alan içindeki beş farklı sulak alan sınıfını karakterize etmek için WorldView-4, GeoEye-1 ve LIDAR verilerinden yararlanılmış, ayrıca nesne tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. Sonuç olarak yüksek çözünürlüklü görüntüler ve LIDAR kullanarak, %91,12'lik bir doğrulukta sınıflandırılmış haritalar üretilmiştir. Ortaya çıkan sulak alan sınıflandırma haritası ve su akış haritası, sulak alanların şehrin peyzajına nasıl bağlandığının anlaşılmasına yardımcı olabilecektir. Ayrıca çalışma St. John Şehri için sulak alanla ilgili tam koruma ve etkili yönetim kararlarının alınmasını sağlayacaktır.

Dlodlo vd. (2016) Yapılan çalışmada internet faktörünün akıllı kentler üzerindeki rolünü araştırmışlardır. Çalışmada kenti destekleyen hizmetler ve uygulamalar (turizm, sağlık, suç önleme ve toplum güvenliği vb.) değerlendirilmektedir. İnternetin

entegrasyonu ile beraber akıllı kent uygulamalarında yeni yaklaşımlar önerilmektedir.

Nuaimi vd. (2015) Akıllı kentlerde büyük veri (big data) uygulamalarını değerlendirmişlerdir. Akıllı kentler ve büyük verilerin literatürdeki farklı tanımlarını tartışmışlar, akıllı kentlerde büyük veri uygulamalarının, zorluklarını, faydalarını ve gereksinimlerini araştırmışlardır. Bu araştırma, akıllı kentlerde büyük veriyi kullanmak için çeşitli fırsatların varlığını ortaya koymakta; ancak bu fırsatların iyi kullanılmasını sağlamak için ele alınması gereken birçok sorun ve zorluk olduğunu bildirmektedir.

Mohammed vd. (2014) Akıllı kentlerde insansız hava araçlarının kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır. İnsansız hava araçları, kentlerde, çevresel tehlikelerin izlenmesi, trafik yönetimi ve kirlilik izleme gibi birçok alanda geniş bir kullanıma sahiptir. Bu uygulamaların tamamı bir akıllı kentin gelişimine büyük katkılar sağlamaktadır. Ancak günümüzde güvenlik, mahremiyet ve etik olmayan kullanımlar gibi konular büyük endişe oluşturmaktadır. Çalışmada, akıllı kentlerde insansız hava araçlarının (İHA) uygulamalarının artıları ve eksileri tartışılmaktadır.

Jovanovi'c vd. (2020) Akıllı kent uygulamaları için sanal 3B kent modellerin üretilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma alanı Sırbistan Novi Sad Üniversitesi Kampüs Alanı olarak belirlenmiştir. Çalışmada, havasal lazer tarama ölçümlerine dayalı sanal 3B kent modeli geliştirilmiştir. Çalışmada lazer tarama sistemlerinin 3B sanal kent modelleri geliştirmede ve bu gibi güncel uygulamalarda potansiyel kullanım senaryoları tartışılmaktadır.

Bu çalışmada, akıllı kent teknolojilerinin sürekli ihtiyacı olan kent elemanlarının 3B modellerinin, YLT yöntemi ile üretilmesi araştırılmıştır. Çalışma alanı Mersin'in tarihi çeşmelerinden biri olan Süslü Çeşme olarak belirlenmiştir. Çeşmenin 3B modelinin oluşturulması aşamasında FARO marka FocusS 350 modelinde YLT kullanılmıştır. Uygulamanın veri toplama aşamasında 14 istasyon noktasından tarama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Veri işleme aşamasında ise SCENE yazılımı kullanılmıştır. Taramalar sonucunda tarihi çeşmenin nokta bulutu elde edilmiştir. Yapılan birleştirme, düzenleme, temizleme ve renklendirme işlemlerinin ardından çeşmenin 3B modeli elde edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Kentler birçok fiziksel donatının bir araya gelmesinden oluşurlar. Kentlerdeki önemli kamusal alanlardan biri olan çeşmeler kentin kendine has kimliğini ve estetiğini sergilerken bazende önemli bir kentsel unsur olarak karşımıza çıkabilmektedir. Çeşmeler su sağlamanın yanında, özellikle kentsel alanlarda, trafikte hem araçlar hem de yayalar için yönlendirme işlevi de yapabilmektedir. Bir yolun ikiye bölündüğü ve şehir merkezlerine doğru devam ettiği bölümlerin başında çeşmeler yapılarak yol ayrımları estetik olarak vurgulanabilmektedir.

Büyük ve göz alıcı mimari yapılara ve tasarıma sahip çeşmeler ile tarihi çeşmeler daha fazla tanınmakta ve bu nedenle buldukları çevreye adını verebilmektedir. Ayrıca su kaynaklarının tanınmasında kaynakların su

kalitesi önemli bir yere sahiptir. Ülkemizdeki çoğu şehrin kendine özgü tarihini ve kültürel dokularını içinde barındırdığı tarihi kent çeşmeleri bulunmaktadır (Özer 2008).

Mersin'in Akdeniz İlçesi İhsaniye Mahallesi'nde konumlanan Süslü Çeşme Kuvayı Millîye (eski adı Hastane Caddesi) ve Havuzlar Caddesi arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

Süslü Çeşme 1930 yıllarında inşa edilmiştir. İnşa edildiği konum Mersin'in güney-kuzey gelişme aksı üzerindedir (Şekil 2).



Şekil 2. Mersin Süslü Çeşme 1930 yılları (Pinterest 2021)

Süslü Çeşme yapısal olarak dikdörtgen prizma formundadır. Yapının üç yüzeyi çeşme dizaynında iken, kuzey yüzeyi düzdür. Çeşme 7 gözlü ve 9 su yalıklı olacak şekilde inşa edilmiştir. Tavan kısmı kemerli 10 niş ile betonarme olarak yapılmıştır. Çeşme yapısal olarak geleneksel mimarimiz ile modernizmin taşımaktadır (Everest & Merzeci (2011).

Çeşmenin güney cephesi 3, batı ve doğu cephesi 2, güney-batı ve güney-doğu köşeleri ise 1'er tane olmak üzere sivri kemer görünümündedir. Bu sivri kemerlerin her birinde köşelerdekilerin haricinde musluklar yerleştirilmiştir. Çeşme çeşitli dönemlerde farklı renklerle boyanmıştır (Şekil 3).

Çeşme yıldız motifli alçı ve seramik bezemeler ile çinilerle süslenmiştir. Süslemeler sivri kemerlerin üst iç kısımlarında daire ve sekizgen formundadır. Kemer üst aralarında aynı formda daha küçük boyutta seramik kaplamalar bulunmaktadır. Çeşmenin musluk kesiminde ve kemer alt kısmında yıldız ve çiçekli bezemeler

mevcuttur (Şekil 4). Seramik kaplamalı cepheleri ona "süslü" sıfatını kazandırmıştır.



Şekil 3. Süslü Çeşme

Tarihsel süreçte kentin elektriğe kavuşmasından sonra Mersin'de temiz su arama çalışmaları hızlanmıştır. Günümüzdeki Asri Mezarlığın 150 metre kadar güneyinde sondaj çalışmaları başlamıştır. Ancak çıkarılan suyun içilemez olması nedeniyle çeşmeye su verilemediğinden Süslü çeşme ismi halk arasında Kuru Çeşme olarak adlandırılmaktadır (Kokulu 2013).

Bu eserin günümüzde şehir suyu bağlantısı vardır. Süslü Çeşme Mersin'in önemli bir kültür mirası olarak bilinmektedir.



Şekil 4. Mersin Süslü Çeşme yakın görünümü

3. YÖNTEM

Son yıllarda pek çok alanda 3B coğrafi modelleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mekânın algılanmasında kullanılacak yaklaşım erişilecek veri setine ve ihtiyaç duyulan 3B modelin özelliklerine göre değişmektedir.

LIDAR tekniği bu konuda kendisini uzun yıllardır kanıtlanmış ve yaygın olarak kullanılmakta olan bir teknolojidir (Keleş & Aydın 2020). Bu teknoloji kısa sürelerde fiziksel verilerin hassas ve yoğun bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır. LIDAR yöntemi sayesinde objeyle herhangi bir temas olmadan doğrudan hassas ve otomatik bir şekilde 3B modeller üretilebilmektedir. LIDAR teknolojileri, mekânsal veri dışında herhangi bir veriye ihtiyaç duyulmaması ve verileri işlemenin prensipte otomatik olarak yapılması sayesinde diğer yöntemlerden öne çıkmaktadır (Zeybek 2021). Ayrıca LIDAR teknolojileri ölçümden hemen sonra dijital veri sağlayabilmektedir. Bütün bu sağladığı kolaylıklar farklı alanlarda LIDAR teknolojilerinin kullanımını arttırmıştır (Masaharu & Hasegawa 2000).

LİDAR yöntemi; madencilik uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, kültürel mirasın korunması ve belgelenmesi, arkeoloji, afet izleme, kıyı uygulamaları, mimari ve bina ölçme, ulaşım ve altyapı gibi birçok uygulamada sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Oruç & Öztürk 2021). LİDAR sistemlerinin en çok kullanıldığı bir diğer uygulama alanı ise kent objelerinin 3B modellenmesi ve bu modellerin içerdiği cadde, sokak gibi mekânlardır (Metin 2016).

LİDAR sensörü veri toplama için hava veya kara platformları üzerine monte edilebilir. LİDAR teknolojileri tarama için kullanılan platforma göre üç sınıfa ayrılmaktadır; bunlar havadan, karasal (yersel) ve mobil LİDAR sistemleridir. Üç tip LİDAR sistemi de akıllı kent projelerinin uygulanması ve kentsel alan araştırmaları sırasında veri toplamak için popüler ve güçlü araçlardır (Abellán vd. 2014). Lazer tarama sistemleri, belirli koşullar altında uygulama maliyetleri ve teknik performansları ile ilgili bazı dezavantajlara sahiptir. Havadan lazer tarama sistemleri ile detaylı bina cephelerine sahip 3B kentsel modeller elde edilemezken, mobil lazer tarama sistemleri (araç üstü ya da el tipi) için bazı alanlara erişim kısıtlanabilmektedir. Ayrıca, bu sistemler, çoğu gereksiz olan büyük miktarda veri ürettiğinden verinin işlenmesi daha da karmaşık hale gelebilir (Sahin vd. 2012). İstenilen doğruluk hassasiyeti, mekânın büyüklüğü, zaman, ekonomik durum, eldeki imkanlar ve diğer şartlar (trafik yoğunluğu, insan yoğunluğu hava şartları, erişilebilirlik) gibi etmenler doğrultusunda uygun tip lazer tarama sisteminin seçilmesi oldukça önemlidir.

3B kent modellerinin üretilmesi aşamasında; kent merkezlerinde, dar sokaklar, insan yoğunluğu ve trafik nedeniyle araçların bazı sokaklara erişimi kısıtlanabilmektedir. Bu gibi kısıtlamalar, bu ortamlarda veri toplamayı daha zor hale getirmektedir (Balsa-Barreiro & Fritsch 2018). Bu kapsamda çalışma alanının kentin merkezi konumunda olması, dar sokaklarla çevrilmesi, sürekli ziyaretçi akını ve trafik gibi etmenlerden kaynaklı yol güzergahlarına kısıtlı erişim nedeniyle uygulama YLT kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YLT kısa mesafelerde potansiyel olarak daha doğru ve ayrıntılı ölçümler sağlamaktadır (Hiremagalur vd. 2007; Abellán vd. 2014).

YLT yatay ve düşey olmak üzere her iki ekseninde dönebilen bir mekanizmaya sahiptir (Alptekin & Yakar 2019; 2020). Bu mekanizma cihazın optik merkezinden yansıtıcı bir hedefin yüzeyine olan mesafeyi hesaplamak için elektromanyetik radyasyonun emisyon ve geri dönüş süresini kullanır (Baltasvias 1999; Abellán vd. 2014). Yersel lazer tarayıcılar, ölçüm prensiplerine göre genellikle time-of-flight (uçuş zamanlı mesafe belirleme) ve phase-shift (faz farkı) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

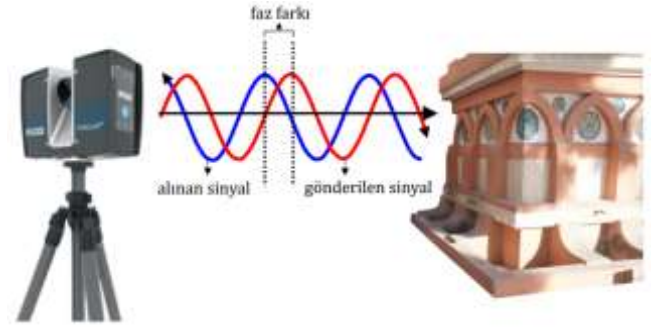
3.1. Uçuş zamanlı mesafe belirleme (time of flight) yöntemi

Tarayıcı, ünitesinden yüksek enerjili bir lazer ışığı üretir ve hedef objeye gönderilir. Ardından tarayıcının algılayıcı sensörü objeden geri dönen ışığı algılar (San José Alonso vd. 2011). Tarayıcı, gönderdiği her lazer ışınının gidiş ve dönüş süresini kaydeder. Ardından sensör tarafından işaretlenen objeler ile gönderilen ışın arasındaki mesafeyi ve yansıtma değerini ölçer (Meng vd.

2010; Polat 2020). Aradaki mesafe ışığın hedefe gidiş ve dönüşündeki geçen süreye göre hesaplanır.

3.2. Faz farkı yöntemi (phase shift) yöntemi

Uygulamada kullanılan YLT faz farkı yöntemi prensibine göre ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Bu çalışma prensibinde tarayıcının sensörü sürekli olarak orta şiddette periyodik bir sinyal yayar. Yayılan bu sinyal nesnenin yüzeyinden yansıtıldıktan sonra sensör tarafından algılanır, ardından giden ve gelen sinyalin faz değerleri karşılaştırılır (Çelik vd. 2020). Bu faz farkı analiz edilerek mesafeler hesaplanır (Şekil 5). Bu tür tarayıcılar, geniş görüş alanı, yüksek miktarda nokta, yüksek menzil ve yüksek tarama hızları sağlarlar. Bu tarayıcılar genellikle görünür dalga boylarını kullanır (Ulvi 2021).



Şekil 5. Faz farkı yöntemi

3B görüntü oluşturmak için ışığın istenilen görüş alanındaki tüm noktalara yönlendirilmesi gereklidir. Kaydedilen veriler, ölçülen nesnenin konumunu tespit etmek ve yüzeyini anlamada yeterlidir (Liu 2008; Polat 2020). Lazer tarama sistemleri büyük miktarda ham veri toplar, bu veri "nokta bulutu" olarak adlandırılır. Tüm nokta bulutu bilinen bir koordinat sistemi referans alınarak ya da bölgesel koordinat sistemi kullanılarak aynı koordinat sistemine yönlendirilebilir. Nokta bulutundaki tüm noktalar X, Y ve Z koordinatlarına sahiptir. Nokta bulutlarının birleştirilmesinde, noktaların renklendirilmesinde ve dokuların giydirilmesinde lazer tarayıcılara entegre dijital kameralardan yararlanılmaktadır. Farklı istasyonlardan bindirmeli olarak yapılan taramalardan elde edilen veriler çeşitli yazılımlar sayesinde işlenmekte ve 3B modeller elde edilmektedir. Bu çalışmada FARO marka YLT kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. FARO marka FocusS 350 model yersel lazer tarayıcı (Faro 2021)

FARO kolay taşınabilir olma özelliğinin yanında hem iç hem de dış mekânlarda artırılmış mesafe ve açılabilir hassasiyeti ile doğruluğu yüksek taramalar gerçekleştirebilir. FARO, mühendislik, inşaat, mimari, ürün tasarımı, kamu güvenliği ve adli tıp gibi alanlardaki tüm uygulamalar için rahatlıkla kullanılabilir. Geniş dokunmatik ekranı ve kullanışlı arayüzü tarayıcının kontrolünü oldukça kolaylaştırmaktadır. Ayrıca gerçek zamanda yerinde bir mobil cihaza ya da bilgisayara doğrudan bağlantı kurarak 3D tarama verisinin kablosuz aktarılmasını ve işlenmesini desteklemektedir (Echosurveying 2021). Kullanılan YLT' nin teknik özellikleri Tablo 1'de vermiştir.

Tablo 1. Kullanılan yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri (Faro 2021)

Öznitelik	Değer
Boyut	230*183*100 mm
Ağırlık	4,2 kg
Tarayıcı kontrolü	Dokunmatik
Batarya süresi	4,5 saat
Tarama mesafesi	0,6- 50 m
Hassasiyet	±1 mm
Çözünürlük	165 mp
Görüş alanı (dikey, yatay)	300° ,360°
Azami dikey tarama hızı	97 Hz
Veri Depolama	SD, SDHC, SDXC, 32GB
Pusulula	Elektronik
HDR Fotoğraf Kaydı	2x/3x/5x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/sn

4. UYGULAMA

4.1. Veri toplama

YLT istasyonlarının sayısı ve konumu; mekânın topoğrafyasına, bina yüksekliği ile cadde genişliği arasındaki ilişkiye, araç ve insanların varlığı ve nesnenin karmaşıklığı gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle lazer tarama öncesinde en verimli performansa ulaşmak için istasyonların konumları ve oturma sayıları planlanmalıdır. Her tarama istasyonunun sayısı ve konumu, her bir tarama istasyonundan elde edilen görüş alanından etkilenmektedir. Taramanın doğruluğu tarama istasyonlarının sayısı ve istasyonların konumları ile bağlantılıdır. Tarama çözünürlüğü kavramı nokta bulutundaki noktaların aralarındaki boşluklar ile ilişkilidir. Tarama çözünürlüğü arttırıldıkça nokta bulutundaki noktalar arası boşluklar azalmakta, dolayısıyla taranan nokta sayısı artmaktadır. Diğer bir deyişle yüzey daha çok nokta ile temsil edilmektedir. Bu sayede 3B modeldeki ayrıntı seviyesi artmaktadır. Ancak

bununla beraber tarama dosyasının boyutu da oldukça artmaktadır.

Uygulamada bazı bölgelere kısıtlı erişim nedeniyle cepheler için sınırlı görüş saptandığından başlangıçta belirlenen istasyonların sayısı arttırılmıştır. 14 YLT istasyonu, tüm cepheleri tamamen kapsayacak şekilde çeşmenin etrafına mekânsal olarak iyi bir şekilde dağıtılmıştır. Tarama işlemine başlamadan önce cihaz planlanan tarama istasyonlarına kurulmuş ve ölçüm için gerekli parametreler cihaza girilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. YLT ile veri toplama aşaması

Tarama çözünürlüğü her istasyon için; ölçüm modu ayarı eşit ağırlıklı ölçüm, renkler açık, tarama çözünürlüğü 1/4, tarama kalitesi 3x, tarama mesafesi ise 20 m altında seçilerek taramaya başlanmıştır. Tarama süresi bütün istasyonlarda 9 dakika 40 saniyedir. Tablo 2'de tarama parametrelerinin sayısal değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Tarama parametreleri

Çözünürlük	Süre	Tarama Boyutu	Mesafe	Kalite
1/4	9 dk40sn	10240 x 4267Pn	<20	3x

YLT sensörünün menzilineki objelerden etkilenen tüm alan göz önüne alındığında, 14 istasyondan toplamda 4 milyondan fazla nokta içeren kapsamlı bir nokta bulutu elde edilmiştir. Tarama esnasında hedef noktalar (targetler) ve yer kontrol noktaları kullanılmamıştır. Veri işleme aşamasında tarama oturumlarının birleştirilmesi dijital ortamda rastgele otomatik noktalar (cloud to cloud) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

4.2. Veri işleme

Taramalar sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi, düzenlenmesi ve birleştirilmesi için çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Piyasada çeşitli şirketlerin geliştirdiği birçok yazılım mevcuttur. Uygulamada sınıflandırma doğruluğu, hızlı çalışması ve kullanışlı arayüzü nedeniyle SCENE yazılımı kullanılmıştır. SCENE yazılımı ile kullanıcılar, gerçek dünyadaki objelerin ve ortamların 3B görselleştirmelerini oluşturabilirler. Ayrıca bu verileri çeşitli formatlarda dışa aktarabilir.

Tüm istasyonlardan elde edilen ham veri boyutu toplamda 3.45 Gb' dır. Başlangıçta, SCENE' de bir proje adı ve klasör oluşturulmuştur. Daha sonra ham veri

setleri SCENE' e aktarılmıştır. Bu işlem yapılırken verinin sınırlarını üç ekseninde, varsa tarama açısı, yoğunluk ve lazer ışınının geri dönüş bildirimi gibi diğer yardımcı bilgileri analiz edilmektedir. Daha sağlıklı bir modelleme elde etmek için öncelikle nokta bulutunun sınıflandırılması yapılmalıdır. Ancak tek bir yapı üzerinde çalışıldığı için bu uygulamada sınıflandırma işlemi yapılmamıştır. Her bir istasyonlardan elde edilen nokta bulut verileri birleştirildikten sonra noktaların temizlenmesi aşamasına geçilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Nokta bulutu

Lazer tarayıcı sensörü çevreye ait diğer tüm verileri de kaydettiğinden ilgisiz ve gereksiz noktalar temizlenmiştir. Son olarak renklendirilme işlemi yapılmış ve 3B modelleme işlemi tamamlanmıştır (Şekil 9 ve 10).



Şekil 9. Çeşmenin 3B modeli (güney, batı)



Şekil 10. Çeşmenin 3B modeli (güney, doğu)

Veri işleme; Microsoft Windows 10 işletim sistemi, Intel Xeon e5-2620 v4 2.10 GHz işlemci, 128 GB bellek kapasitesi, Nvidia Quadro m4000 8GB ekran kartı, teknik özelliklerine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇLAR

3B akıllı kent modelleri, akıllı kentler, navigasyon ve görselleştirme, çevre koruma, ulaşım, turizm, kent planlama, kamu güvenliği ve şehir hizmetleri, planlama, endüstriyel, sosyal ve ticari faaliyetler gibi farklı uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şehir merkezlerinde (çarşılarda), dar sokaklar, sürekli devam eden ziyaretçi akını ve trafik gibi kısıtlanan erişimler nedeniyle araçların bazı sokaklara erişimi kısıtlanabilmektedir. Bu gibi kısıtlamalar, mekânlarda veri toplamayı daha da zorlaştırmaktadır. Bu yüzden kullanılacak yöntemin seçiminde, modellenen nesnenin bulunduğu ortamın dikkate alınması büyük rol oynamaktadır.

Çok sayıda çalışma, kentsel alanlarda fotogrametrik tekniklere ve lazer taramaya dayalı 3B modellemeye odaklanmıştır. Hatta her iki yönteminde bir arada kullanıldığı hibrit yöntemler önerilmiştir. Ancak şimdiye kadar, yüksek doğrulukta ve estetik 3B modeller oluşturmak için hangi metodolojinin en uygun olduğu konusunda hala bir tartışma vardır. YLT yöntemi kentlerin 3B modellenmesinde sağladığı kolaylıklar sayesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Çok kısa sürelerde ve yeterli hassasiyetlerde yapıların 3B modelleri kolayca elde edilmektedir.

Uygulamada tarama çözünürlüğü 1/4, tarama kalitesi 3x, tarama mesafesi 20m altında seçilmiştir. Tarama sırasında herhangi bir kontrol noktası kullanılmamış 14 istasyon noktasından elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi farklı istasyonlardan bindirmeli olarak yapılan taramalardan otomatik olarak elde edilen ortak noktalar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada jeoreferanslama yapılmamış elde edilen nokta verilerinin koordinatları tarayıcının kendi (lokal) koordinat sisteminde otomatik olarak tanımlanmıştır. Oturumlardan elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi ortalama $\pm 3,9$ mm hata ile tamamlanmıştır. Gereksiz noktaların silme işlemi her istasyon için de gerçekleştirilmiştir. Son olarak nokta bulutu renklendirilmiştir. Otomatik üretilen noktalar sayesinde tüm yapı 71 milyondan fazla nokta ile temsil edilmektedir. Ortaya çıkan 3B sanal model doğru, ayrıntılı ve görsel olarak estetik nitelik taşımaktadır. Burada elde edilen 3B sonuç modeli, 3B kent modellerinde rahatlıkla kullanılabilir.

Üretilen 3B modelin doğruluğu, tarama öncesi seçilen tarama hassasiyeti ve oturumların birleştirilme hatası ile doğrudan bağlantılıdır. Taramada kullanılan tarayıcıların teknik özelliklerinin yanında taranacak objenin karmaşıklığı, tarama istasyonlarının konumları ve sayısı, tarama süresi, çözünürlük, menzil, tarama açısı, veri işleme aşamasında kullanılan yazılım gibi faktörler çıktı ürününün hassasiyetini etkilemektedir. Ayrıca uygun tip tarayıcının seçilmesi maliyet açısından kaynak sarfiyatının önüne geçilmesini sağlayacaktır.

YLT yapıların cephelerinin modellenmesinde oldukça iyi işler çıkarmasına rağmen çatılarda eksik kalmaktadır. Bu yüzden yüksek katlı yapıların çatı detayı için YLT önerilmemektedir. Ayrıca yüzeylere dik olan ölçümler daha yüksek seviyelerde doğruluk göstermektedir. YLT yöntemi kısa bir süre içinde nesne yüzeyi hakkında bir görselleştirme sağlayabilir. YLT bu

esnekliği sayesinde kullanışlıdır. Yapılan çalışmada YLT teknolojisinin kullanılan diğer yöntemlerden daha üstün ve daha esnek bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Küçük sayılabilecek ölçekli yapıları 3B modellemede ve akıllı kent uygulamalarında kullanmada YLT teknolojileri alternatif bir yöntem 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

- Abellán A, Oppikofer T, Jaboyedoff M, Rosser N J, Lim M & Lato M J (2014). Terrestrial Laser Scanning of Rock Slope Instabilities. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 80-97.
- Al Nuaimi E, Al Neyadi H, Mohamed N & Al-Jaroodi J (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1), 1-15.
- Alptekin A & Yakar M (2020). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Turkey Lidar Journal*, 2(1), 1-4.
- Alptekin A, Çelik M Ö, Doğan Y & Yakar M (2019). Mapping of a Rockfall Site With an Unmanned Aerial Vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 12-16.
- Alonso J S J, Rubio J M, Martin J F & Fernandez J G (2011). Comparing Time Of Flight and Phase Shift. The Survey of the Royal Pantheon in the Basilica of San Isidoro(Leon). In procs. of ISPRS Workshop'3D ARCH.
- Aslan M M & Bulut Y (2019). Akıllı Kent Uygulamalarının Kentsel Güvenlik Açısından Önemi. *Assam Uluslararası Hakemli Dergi*, 52-60.
- Balsa-Barreiro J & Fritsch D (2018). Generation of Visually Aesthetic and Detailed 3D Models of Historical Cities by Using Laser Scanning and Digital Photogrammetry. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 57-64.
- Baltsavias E P (1999). Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 54(2-3), 199-214.
- Barreiro J B & García J L L (2006). La tecnología LiDAR: una visión general. *Topografía y Cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 23(135), 28-33.
- Biljecki F, Stoter J, Ledoux H, Zlatanova S & Çöltekin A (2015). Applications of 3D City Models: State of The Art Review, *ISPRS Int. J. Geo-Inform.*, 4, 2842-2889.
- 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.
- Dlodlo N, Gcaba O & Smith A (2016). Internet of things technologies in smart cities. In 2016 IST-Africa Week Conference, 1-7.
- Döllner J, Baumann K & Buchholz H (2006). Virtual 3D city models as foundation of complex urban information spaces 107-112.
- Echosurveying (2021). <https://echosurveying.com/3d-laser-scanner/faro-focus-s350-laser-canner>(Erişim Tarihi: 01.11.2021)
- Ernst F, Şenol H İ, Akdağ S & Barutcuoglu Ö (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160. DOI: 10.46578/humder.941015
- Everest A & Merzeci A M (2011). Mersin'in Çeşmeleri ve Anıt Ağaçları. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 39-39.
- Faro(2021).<https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners> (Erişim Tarihi: 01.11.2021)
- Hamal S N G, Binnaz S & 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.
- Heritage G & Large A (2009). Laser Scanning for the Environmental Sciences.
- Hiremagalur J, Yen K S, Akin K, Bui T, Lasky T A, & Ravani B (2007). Creating Standards and Specifications for the Use of Laser Scanning in Caltrans Projects (No. CA07-0964).
- Jovanović D, Milovanov S, Ruskovski I, Govedarica M, Sladić D, Radulović A & Pajić V (2020). Building virtual 3D city model for Smart Cities applications: A case study on campus area of the University of Novi Sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 476.
- Kaya Y, Şenol H İ & Polat N (2021). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52 . DOI: 10.53093/mephoj.1012937

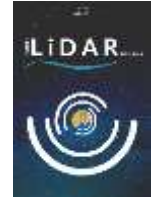
- Keleş M D & Aydın C C (2020) Mobil Lidar Verisi ile Kent Ölçeğinde Cadde Bazlı Envanter Çalışması ve Coğrafi Sistemleri Entegrasyonu-Ankara Örneği. *Geomatik*, 5(3), 193-200.
- Kokulu V (2013). İçel Sanat Kulübü 2013-198 Sayılı Aylık Bülteni.
- Kostrikov S V (2019). Urban Remote Sensing With Lidar For The Smart City Concept Implementation. *Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*, 50.
- Liu X (2008). Airborne LiDAR for DEM Generation: Some Critical Issues. *Progress in Physical Geography*, 32(1), 31-49.
- Mahdianpari M, Granger J E, Mohammadimanesht F, Warren S, Puestow T, Salehi B & Brisco B (2021). Smart solutions for smart cities: Urban wetland mapping using very-high resolution satellite imagery and airborne LiDAR data in the City of St. John's, NL, Canada. *Journal of Environmental Management*, 280.
- Masaharu H & Hasegawa H (2000). Three-Dimensional City Modeling From Laser Scanner Data By Extracting Building Polygons Using Region Segmentation Method. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B3/1; PART 3), 556-562.
- Meng X, Currit N & Zhao K (2010). Ground Filtering Algorithms for Airborne Lidar Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing*, 2(12), 833-860.
- Metin A (2016). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği. Master's Thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mohammed F, Idries A, Mohamed N, Al-Jaroodi J & Jawhar I (2014). UAVs for smart cities: Opportunities and challenges. In 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, 267-273.
- Oruç M E & Öztürk İ L (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Turkey Lidar Journal*, 3(1), 17-24.
- Özer S (2008). Geçmişten Günümüze Kent-Çevre ilişkisi İçinde Çeşmeler. *Sanat Dergisi*, (13), 129-134.
- Özerbil T, Gökten E, Önder M, Selçuk O, Sarılar N Ç, Tekgül A & Tütüneken A (2014). Konya Büyükşehir Belediyesi Eğik (Oblique) Görüntü Alımı, 3 Boyutlu Kent Modeli ve 3 Boyutlu Kent Rehberi Projesi. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 14-17.
- Pinterest (2021). <https://tr.pinterest.com/pin/476677941786262897> (Erişim Tarihi: 01.11.2021)
- Polat N (2020). LIDAR Derived 3d City Modelling. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 339-342.
- Sahin C, Alkis A, Ergun B, Kulur S, Batuk F & Kilic A (2012). Producing 3D City Model With The Combined Photogrammetric and Laser Scanner Data in The Example of Taksim Cumhuriyet Square. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(12), 1844-1853.
- Şenol H İ, Pola N, Kaya Y, Memduhoğlu A & Ulukavak M (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14. DOI: 10.53093/mephoj.899157
- Su K, Li J & Fu H (2011). Smart City and The Applications. In 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), 1028-1031.
- Ullah, Z, Al-Turjman F, Mostarda L & Gagliardi R (2020). Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Computer Communications*, 154, 313-323.
- Ulvi A (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- Ulvi A & Yakar M (2014). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 25-36. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hartek/issue/7589/99627>
- Vu D D & Kaddoum G (2017). A waste city management system for smart cities applications. In 2017 Advances in Wireless and Optical Communications, 225-229.
- Yakar M, Yıldız F & Yılmaz H M (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu H M (2009). Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu O (2010). Comparative Evaluation of Excavation Volume by TLS and Total

- Topographic Station Based Methods. Lasers in Engineering 19 (5-6), 331-345
- Yakar M, Orhan O, Ulvi A, Yiğit A Y & Yüzer M M (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.
- Yastıklı N & Çetin Z (2016). Hava Lidar Verileri ile 3b Bina Modellerinin Otomatik Üretimi.
- Yılmaz H M & Yakar M (2008). Computing of Volume of Excavation Areas by Digital Close Range Photogrammetry. Arabian Journal for Science and Engineering 33 (1A), 63-79.
- Yılmaz H M, Mutluoğlu Ö, Ulvi A, Yaman A & Bilgilioğlu S (2018). İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Kampüsü Örneği. Geomatik Dergisi. 3(2), 129-136.
- Yılmaz H M, Yakar M, Mutluoğlu O, Kavurmacı M M & Yurt K (2012). Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (SelimeAksaray-Turkey). Environ Earth Sci, 66, 75-81.
- Erener A & Yakar M (2012). Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technologies. Lecture Notes in Information Technology, 30, 310-314
- Zeybek M (2020). Mobil LiDAR Nokta Bulutlarından Enerji Nakil Hatlarının Doğrusal Olmayan Modellerle Kestirimi. Turkey Lidar Journal, 2(2), 55-63.
- Zeybek M (2021). Indoor Mapping and Positioning Applications of Hand-Held LiDAR Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Systems. Turkey Lidar Journal, 3(1), 7-16.



© Author(s) 2021.

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



Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi

Engin KANUN¹, Azim METİN², Murat YAKAR³

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

²Konya Büyükşehir Belediyesi, KUDEB, Konya, Türkiye

³Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Ağzıkara Han,
Lazer Tarama,
Nokta Bulutu,
Kültürel Miras.

ÖZ

Türkiye, dünyadaki konumu sebebiyle birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Bu eserlerin korunması ve gelecek nesillere aktarılması kültürel mirasa sahip çıkmak açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu eserler zaman içerisinde zemin ve hava koşulları, malzeme bozunumları, doğal afetler, yangın, savaş ve kötü kullanım gibi sebeplerden ötürü büyük hasara uğrayabilmektedir. Bu gibi durumlarda eserlerin korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için belgelenmesi gerekmektedir. Kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması kapsamında var olan eserlerin ve yapıların belgelenmesi işlemlerinde teknolojik aletler ve yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye'de yer alan ve Selçuklu döneminde inşa edilmiş tarihi bir kervansaray olan Ağzıkara Han'ın 3 boyutlu (3B) nokta verilerinin oluşturulması amacıyla yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır. Lazer tarama işlemi Faro X 330 aletiyle yapılmış ve nokta bulutu verisi üretilmiştir. Lazer tarama verilerinin birleştirme hataları da hesaplanmış ve kabul edilebilir mertebede olduğu sonuçlarda gösterilmiştir. Ortalama birleştirme hatası 5.9 mm olarak hesaplanmış ve verilerin %43.3'ü 4 mm'nin altında hata değerine sahiptir.

Obtaining 3D Point Cloud of Agzikara Khan Using Terrestrial Laser Scanning Method

Keywords

Agzikara Khan,
Laser Scanning,
Point Cloud,
Cultural Heritage.

ABSTRACT

Turkey has hosted many civilizations due to its location on the world. Preserving these assets and transferring them to future generations is of great importance in terms of protecting the cultural heritage. These artifacts can suffer great damage over time due to ground and weather conditions, material degradation, natural disasters, fire, war and misuse. In such cases, it is necessary to document the artifacts in order to protect them and transfer them to future generations. Technological tools and methods are used in the documentation of existing artifacts and structures within the scope of transferring cultural heritage to future generations. Within the scope of this study, terrestrial laser scanning method was used in order to create 3D point data of Agzikara Khan, which is a historical caravanserai built in the Seljuk period in Turkey. Laser scanning was performed with the Faro X 330 instrument and point cloud data was generated. Combination errors of laser scan data were also calculated and shown in the results to be acceptable. The mean overlap error was calculated as 5.9 mm and 43.3% of the data had an error value of less than 4 mm.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(ekanun@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2369-5322
(metin.azim@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-0100-3823
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2664-6251

Kaynak Göster / Cite this article (APA);

Kanun E, Metin A & Yakar M (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 3(2), 58-64.

1. GİRİŞ

Türkiye'nin Aksaray ilinin Ağzıkarahan Köyü'nde yer alan ve Selçuklu döneminde inşa edilmiş tarihi bir kervansaray olma özelliği taşıyan Ağzıkara Han, UNESCO Dünya Miras Listesi'ne aday olarak da gösterilmiştir (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, t.y.). Ağzıkara Han, 38° 26' 42.87" kuzey, 34° 8' 25.45" doğu koordinatlarına sahiptir. Han'ın konumu Şekil 1'de görülmektedir:



Şekil 1. Ağzıkara Han'ın konumu

1.1. Ağzıkara Han'ın Tarihçesi ve Literatür Araştırması

Han'a ait kitabelerden edinilen bilgilere göre kapalı bölüm (hol) ve açık avlusu olmak üzere iki aşamada inşa edilmiştir. Hol bölümü 1231'de Anadolu Selçuklu Sultanı I. Alâeddin Keykubad zamanında, açık avlusu ise II. Gıyâseddin Keyhusrev'in ilk saltanat yıllarında 1237'de tamamlanmıştır. Avlunun yan eksenine alınmış taçkapısı, köşe kuleleri ve ağır payandası ile kale görünümüne en çok sahip olan Anadolu Selçuklu kervansarayıdır. Binanın açık avlu bölümü tamamen kesme taştan inşa edilmiştir ve dört eyvan şemasını yaşatmaktadır. Girişin yanındaki bölümler sundurma şeklinde, karşıdaki bölümler ise eyvan çevresinde kapalı mekanlar halinde konumlanmıştır. Şekil 2'de Ağzıkara Han'ın genel görünümü sunulmaktadır. Avlunun orta kısmında ise iki tarafından merdivenlerle çıkılan sultan hanlarının köşk mescidi bulunmaktadır. Dıştaki gibi geometrik motiflerle süslenen iç kısımdaki taçkapıdan ise kapalı bölüme girilmektedir (Altun 1988).



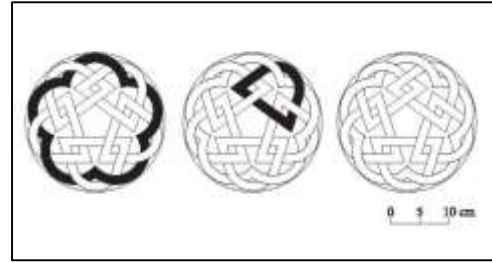
Şekil 2. Ağzıkara Han genel görünümü (URL-1)

Ağzıkara Han'ın açık avlu portalinin rölöve çalışmaları sırasında açığa çıkan bilgilere göre yapının zaman içerisinde hangi sebeplerle hasara uğradığına dair bulgular vardır. En şiddetli bozulmalar portalin alt kısımlarında malzeme kaybı olarak gözlemlenmiştir ve bu da anıtta yerden yükselen nem probleminin varlığını işaret etmektedir. Portalin üst kısımlarında ise oyuklu malzeme kaybı olduğu izlenmiştir. Yapılan çalışmalar

neticesinde bu durumun da çatı kısmındaki nem ve drenaj probleminden kaynaklandığı görülmüştür. Yapı onarım geçirmesine rağmen bazı sorunların devam ettiği sonucuna varılmıştır (Caner 1999). Ağzıkara Han ile ilgili yapılan bir doktora çalışmasında iç avlu portalindeki malzeme kayıpları ve yapıda zamanla meydana gelen bozulmalar gösterilmiştir (Tavukçuoğlu 2001).

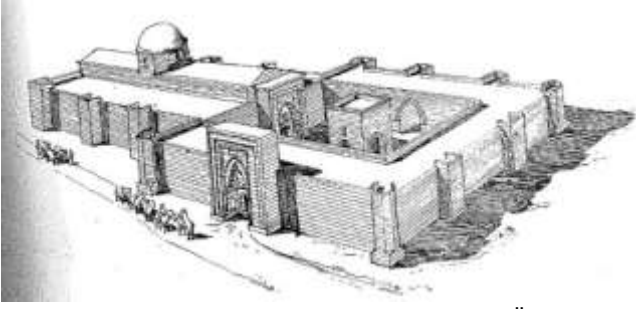
Ağzıkara Han, Aksaray-Nevşehir karayolunun eski güzergahı üzerinde yol kenarında bulunmaktaydı. Eskiden bu yol köyün içinden geçerken 2004 yılında yapılan yeni yolun sonucunda tarihi han anayoldan 2 kilometre dışarıda kalmıştır. Bazı tarihi kaynaklarda Hoca Mesud Ribatı adıyla da bilinmekte olan bu kervansarayın açık ve kapalı kısımları yazlık ve kışlık olarak kullanılmıştır. 13. Yüzyılda inşa edilen bu kervansaray 19. Yüzyıldan itibaren kullanılmaz hale gelmiştir. Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından 1970-1975 yıllarında onarılmıştır. Bir dönem kiralanarak hem turistik amaçla ziyarete açılmış hem de turistik eşyaların satıldığı bir mekan olarak kullanılmıştır (Yetiş & Kaygısız 2017).

2017 yılında yayınlanan bir diğer araştırma makalesinde Ağzıkara Han ve beraberindeki Anadolu Selçuklu yapılarının mimarisindeki geometrik süsleme ve motifler incelenmiş ve kullanılan kompozisyonlar detaylı bir şekilde irdelenmiştir (Bulut 2017). Şekil 3'te Ağzıkara Han'ın kapalı kısım taçkapısında bulunan süslemeler görülmektedir:



Şekil 3. Ağzıkara Han kapalı kısım taçkapısındaki süslemeler (Bulut 2017)

Ağzıkara Han literatürde ilk olarak 1908'de H. Rott tarafından tanıtılmıştır. Bunun akabinde 1918'de Halil Edhem tarafından yayınlanan bir çalışmada, kervansarayın inşasına 1231'de Alâeddin Keykubad zamanında başladığı ve oğlu Keyhusrev döneminde ise tamamlandığı belirtilmiştir. 1942 yılında K. Bittel tarafından yayınlanan bir çalışmada Sivas-Kayseri-Konya yolu üzerindeki kervansarayların önemi aktarılmış ve Ağzıkara Han'ın dört adet fotoğrafı sunulmuştur. Han, Selçuklu kervansaraylarının en iyi korunan örneklerinden birisi olmuştur. Portal çerçevesi oyma kabartmalarla gayet güzel bir şekilde süslenmiştir. Kapı üzerinde bulunan yarım kubbesi ise sarkıtlıdır. Sarkıtı çevreleyen iç içe geçmiş motiflerle süslenmiş düz yüzey sivri bir kemerin içine alınmıştır. Kemerin üzerinde 2 satırlık mermer bir kitabe bulunmaktadır. Kitabenin iki tarafında ve aşağı kısmında ise on tane nakışlı gül vardır. Karşılıklı iki kapı bulduran niş arasından ve önü açık tonozlu bir kısımdan hanın açık bölümüne girilir. Avlunun orta kısmında, portalin karşısında dört ayağa basan dört kemerin üzerine, kare tabanlı bir mescit inşa edilmiştir (Özgüç & Akok 1956). Şekil 4'te Ağzıkara Han'a ait bir restütisyon çalışması görülmektedir:



Şekil 4. Ağzıkara Han restütisyon çalışması (Özgüç & Akok 1956)

Bir diğer makalede, Ağzıkara Han gibi 13. Yüzyılda Anadolu'da inşa edilen birçok yapının taçkapılarında kullanılan madalyon ve kabaralar detaylı ve kapsamlı bir biçimde incelenmiş, benzerlikleri ve farklılıkları ele alınmıştır (Yaman & Ertunç 2019).

Ağzıkara Han, Anadolu Selçuklu yapıları içinde az bozulmuş ve taşçı işaretleri açısından en zengini olduğundan, bir çalışmada ayrıntılı belgeleme için örnek olarak seçilmiştir. Yapılan ayrıntılı incelemeler sonrasında 79 adet taşçı işareti saptanmıştır. Dürbün ve özel aydınlatma elemanları yardımıyla yapılan çalışmada, hanın kapalı kısmında 55, açık kısmında 47 işaret tespit edilmiştir. Her iki bölümde de ortak görülen işaret sayısı ise 23'tür. İşaretlerin yerleri yapı planları üzerinde gösterilmiş ve bölümlere ayrılarak belgelenmiştir (Binan & Binan 2009).

Bir başka çalışmada ise, yapıda ciddi rutubet problemleri olduğu tespitinden yola çıkılarak Ağzıkara Han'ın kızılötesi termografisi yöntemi kullanılarak araştırması yapılmıştır (Tavukçuoğlu vd. 2005).

2019 yılında yayınlanan bir çalışmada, Ağzıkara Han'ın tarihçesinden ve konumundan bahsedilmiş, turizm verileri kullanarak "kültürel iz koridoru" adı verilen rotalar oluşturulmuştur. Kültürel mirasın değer kazanmasına yönelik yeni yönetsel önlemler geliştirilmesini mümkün kılan bu çalışmada, Ağzıkara Han gibi varlıkların turizm açısından çekim alanına dönüştürülmesine yönelik strateji ve öneriler geliştirilmiştir (Yenil & Akyazı 2019).

Bir başka çalışmada ise, 13. yüzyıla ait Selçuk Dönemi kervansaraylarından Ağzıkarahan tüfleri, yapının yakınında bulunan antik taş ocaklarının ortaya çıkarılması için örnek olay olarak incelenmiştir. Duvarları, içte ve dışta kesme tuf bloklarla karşı karşıya kalan moloz taş dolgu ile örülmüştür. Yapının özgün ve yenilenen tuf blokları, yakındaki tuf ocaklarıyla ilişkilendirilerek incelenmiştir. Yapının güneydoğusunda yer alan Saratlı köyünde ve Saratlı'nın biraz ilerisindeki Mamasın köyünde bazı eski ve yeni tuf ocakları araştırılmıştır. Bunlardan yapının orijinal ve yenilenmiş tüflerinin muhtemel kaynakları olduğu düşünülen üç tuf ocağı daha detaylı olarak incelenmiştir (Caner-Saltık vd. 2007).

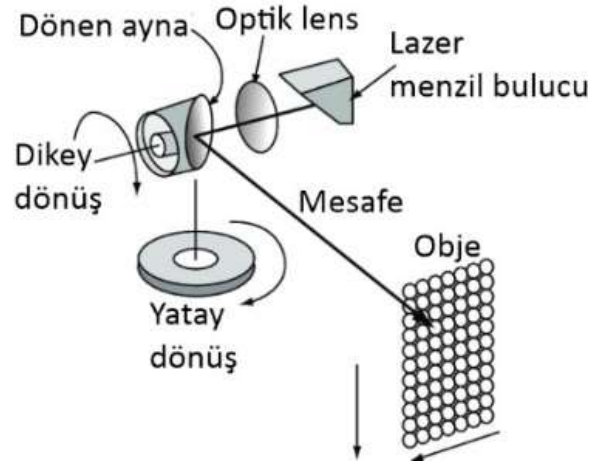
1.2. Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği

Yersel lazer tarama (YLT) teknolojisi birçok meslek dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendisler, mimarlar, arkeologlar, biyologlar, tarihçiler, doktorlar vb. birçok meslek lazer tarama teknolojisi kullanarak ölçümler yapmakta ve modeller üretmektedir (Yılmaz

vd., 2012). Yersel lazer tarama tekniğinin kullanıldığı en önemli alanlardan bir tanesi de kültürel mirasın dökümantasyonu çalışmalarıdır. Geçmişten günümüze, nesilden nesile aktarılmış bir çok tarihi eser ve yapı bulunmaktadır ve bu yapıların gelecek nesillere aktarılması büyük önem arz etmektedir. YLT teknolojisi kullanılarak tarihi yapıların belgelenmesi işlemine dair çalışmalara literatürde de sıklıkla rastlanmaktadır. Bir anıt mezarın 3B olarak modellenmesi (Erene & Yakar, 2012; Yakar vd., 2005; 2009; Alptekin vd. 2019a; 2019b), tarihi bir kalenin nokta bulutu verisinin elde edilmesi (Ulvi & Yakar 2014) gibi örnekler YLT teknolojisi ile tarihi yapıların ve kültürel mirasın 3B olarak başarıyla belgelenebildiğini göstermektedir.

Yersel lazer tarayıcılarda kullanılan ölçüm metodunun temel çalışma mantığı, lazer ışığı sinyalinin ölçüm cihazı ile ölçülen cisim arasındaki gidiş-dönüş süresinin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır (Özdoğan & Deliormanlı 2018).

Yatay ve düşey ekseninde lazer ışını gönderen bir mekanizmaya sahip olan yersel lazer tarayıcıların elektronik ünitesinden çıkan ışın, cihazın gövde kısmında bulunan optik üniteye çarpar ve bu yüzeyden yansarak cihazdan çıkar. Cihazdan çıkan ışın yatay eksenle bir açı yapar. Düşey eksen etrafında çok küçük açılarla dönerek tarama işlemine devam eden cihaz veri almaya devam eder. Bu süreç tarama işlemi tamamlanana kadar devam eder (Vozikis vd. 2004; Özdoğan 2015). Şekil 5'te YLT çalışma prensibine ait şematik bir çizim sunulmuştur:



Şekil 5. YLT çalışma prensibi şeması (Petrie & Toth 2009)

Her tarama sonunda veriler nokta bulutu adı verilen noktalar olarak kullanıcıya sunulur ve bu nokta bulutundaki her lazer noktası kutupsal koordinatlarla (r , φ , θ) tarayıcıya kaydedilir. Bu kutupsal koordinatlarla ifade edilen noktaların kartezyen koordinatları (x , y , z) tarayıcı yazılımı tarafından hesaplanır ve kullanıcıya kartezyen koordinatlar olarak sunulur (Yakar vd., 2010; Yılmaz & Yakar, 2008; Özdoğan & Deliormanlı 2018). Lazer tarayıcı tarafından ham olarak alınan noktasal koordinatlar, kartezyen koordinatlara dönüştürülürken kullanılan matris Denklem 1'de verilmiştir:

$$x_i = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad [1]$$

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın yapılması, arazi ve ofis çalışmaları olmak üzere 2 safhadan oluşmaktadır. Çalışma alanının kontrol edilmesi, tarama işlemleri için hazırlanması ve yersel lazer tarama cihazıyla tarama işleminin yapılması adımları arazi çalışması safhasını oluşturmaktadır. Ofis çalışmaları safhasında ise yersel lazer tarayıcıdan alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve yorumlanıp işlenmesi adımları gerçekleştirilmiştir.

2.1. Arazi Çalışması

Çalışmanın bu safhasında ilk olarak çalışma alanı olan Ağzıkara Han ve çevresinde kontroller yapılarak taramaların yapılacağı muhtemel bölgeler şematize edilmiştir. Tarama işlemleri Faro Focus X 330 lazer tarayıcı cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Faro Focus X 330 lazer tarayıcı

Kullanılan lazer tarayıcının teknik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir:

Tablo 1. Faro Focus 3D X 330 lazer tarayıcı özellikleri (Faro 2015)

Öznitelik	Değer
Netlik aralığı	614 metrede saniyede 122-488 bin nokta; 307 metrede saniyede 976 bin nokta
Mesafe	Kapalı veya açık alan ve %90'a kadar yansıtıcı yüzeyde normal geliş açısında 0.6m – 330m arası
Ölçümleme hızı	122.000 / 244.000 / 488.000 / 976.000 nokta/saniye
Mesafe hatası	±2mm (0.6m – 330m arası)
Çözünürlük	Renkli 70 megapiksele kadar
Görüş alanı (dikey/yatay)	300° / 360°

Aksaray'a 17 km uzaklıkta olan Ağzıkara Han'ın çevresi kabaca 240 metre, oturumu ise 2650 metrekare civarındadır. Taramalara öncelikle dış kısımdan başlanarak yapının çevresi belgelenmiş, devamında ise iç taramalar yapılmıştır.

Lazer tarama işlemleri 26 oturum bina dışı ve 109 oturum bina içi olmak üzere toplam 135 oturumdan oluşmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'de arazi çalışması kapsamında yapılan yersel lazer tarama işlemlerine ait ait görüntüler sunulmuştur.



Şekil 7. Yersel lazer tarama işlemi (iç mekan)



Şekil 8. Yersel lazer tarama işlemi (dış mekan)

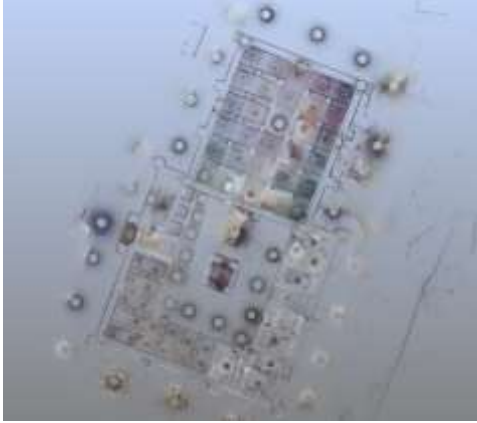
2.2. Ofis Çalışması

Arazi çalışması kapsamındaki taramaların tamamlanmasının ardından ofis çalışmaları safhasına geçilmiştir. Öncelikle sahadan elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Tarama sonucu elde edilen nokta dosyası toplam 29 GB yer kaplamıştır. Verilerin işlenmesi Faro SCENE yazılımında yapılmıştır. 4 gün süren arazi çalışmasının ardından başlatılan ofis çalışması bir haftada tamamlanmıştır.



Şekil 9. Tarama yapılan istasyonlardan bazıları

Şekil 9'da lazer tarama işlemlerinin yapıldığı istasyonlar görülmektedir. Nokta bulutu verisini elde etmek için öncelikle taramalar yazılımda cloud-to-cloud yöntemiyle işlenmiştir. Taramaları renklendirme seçeneği aktif olarak seçilmiştir. Kenar yapı filtresi dışında herhangi bir filtreleme uygulanmamıştır. İlk aşamada otomatik birleştirme uygulanmış, daha sonraki süreçte ise gerek görülen taramalarda manuel düzeltmeler yapılmıştır. Tüm bu işlemler sonucunda elde edilen nokta bulutundaki nokta sayısı 2,998,510,412 adettir. Taramaların yerlerinin konumlanmasının ardından kervansaray çevresindeki ve içerisindeki yerleri Şekil 10'daki gibidir:



Şekil 10. Konumlama işleminden sonra istasyonların yerleri

Lazer tarama verilerinin birleştirme işlemine ait hata değerleri Tablo 2'deki gibidir. Burada taramaların ortalama kaç milimetre hata ile birleştiği ve yüzde kaç mertebede örtüştüğü görülmektedir.

Tablo 2. Birleşme hataları ve örtüşme yüzdeleri

Küme/ Tarama 1	Küme/ Tarama 2	Ortalama [mm]	<4 mm [%]	Örtüşme [%]	Kul. Nokt.
Rek3210	Rek3209	2.25	75.9	88.9	41933
Rek3201	Rek3200	2.229	66.8	85.5	41994
Rek3204	Rek3203	2.215	70.5	75.7	36364
Rek3312	Rek3192	2.192	72.5	31.4	7761
Rek3203	Rek3202	2.162	70.0	85.9	42639
Rek3207	Rek3206	1.707	73.8	92.6	44686
Ortalama=5.92 mm			<4 mm: %43.3		

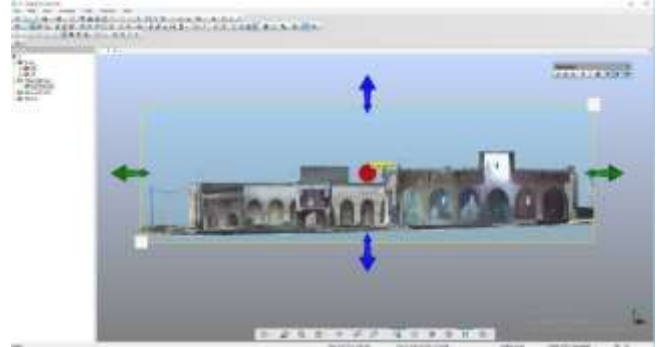
3. BULGULAR

Yersel lazer tarayıcı sayesinde Türkiye'nin Aksaray ilinde bulunan Anadolu Selçuklu dönemine ait tarihi bir kervansaray olan Ağzıkara Han'ın birebir ölçülerinde 3B nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Kervansaraya ait renkli nokta bulutu verisi Şekil 11'de sunulmuştur:



Şekil 11. Ağzıkara Han 3B nokta bulutu

Nokta bulutu verisinin oluşturulması neticesinde artık yapının geometrik şekli ve ölçüleri belgelenmiştir. Bu veri, üzerinde farklı işlemler ve ölçümler yapılarak tarihi han ile ilgili ileride yapılabilecek olası projelerde kullanılabilir. Ağzıkara Han'ın 3B nokta bulutu verisinden alınmış bir orta kesit Şekil 12'de görülmektedir. Burada hana ait kapalı ve açık bölümler detaylı bir şekilde görülmektedir. Hana ait veriler üzerinde uzunluk, alan ve hacim gibi ölçümler yapılabilmektedir.



Şekil 12. Ağzıkara Han 3B nokta bulutu orta kesiti

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Ağzıkara Han'a ait 3B nokta bulutu verisi yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak yapıya herhangi bir zarar verilmeden elde edilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verisi yapı ile birebir aynı ölçüdedir. Ortalama birleştirme hatası 5.9 mm olarak hesaplanmış ve verilerin %43.3'ü 4 mm'nin altında hata değerine sahiptir. Daha yüksek bilgisayar gücü ile verilerin işlenmesi süreci hem hızlanacak hem de daha düşük hatada sonuçlar verecektir. Sonuçları etkileyen bir diğer faktör ise güneş ışığının yapı yüzeylerindeki yansımalarıdır. Taramaları güneşin yapı çevresindeki konumuna göre ayarlamak da elde edilen hata değerini düşürecektir.

Kültürel miras açısından oldukça büyük öneme sahip ve bir Anadolu Selçuklu dönemi eseri olan bu kervansarayın belgelenmesi işlemi tamamlanmıştır. Literatürde Ağzıkara Han ile ilgili erişilebilen tüm çalışmalara değinilmiştir. Daha önceki çalışmalarda söz konusu hanın tarihinden bahsedilmiş, tarihsel bakış açısıyla önemi vurgulanmıştır. Özgüç ve Akok'un 1956 yılında yaptığı çalışmada dönemin teknolojik imkanları kullanılarak hana ait restütisyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise güncel teknolojik yöntemlerden biri olan yersel lazer tarama yöntemi ile kervansarayın iç ve dış kısımlarının 3B modellemesi yapılmıştır. Elde edilen 3B model sayesinde literatürde var olan daha önceki çalışma bulguları kıyaslanabilecek ve yapı üzerinde zaman içerisindeki değişim gözlemlenebilecektir. Örneğin bir çalışmada Ağzıkara Han'ın kapalı kısmında bulunan taç kapısındaki süslemeler üzerine çalışılmış ve bulgular sunulmuştur (Bulut 2017). Söz konusu çalışmada elde edilen bulgular ile kervansarayın günümüzdeki durumunun kıyaslanması bu çalışmada elde edilen 3B model ile yapılabilecektir.

Bu çalışmanın geliştirilmesi için gelecekte insansız hava aracı (İHA) ile havadan fotoğraflar çekilerek yapının

çatı kısmının daha detaylı ve doğru şekilde belgelenmesi sağlanabilecektir.

Elde edilen veriler sayesinde tarihi yapı belgelenmiş ve eserin gelecek nesillere aktarılması yolunda önemli bir adım atılmıştır. İleride yapıda oluşabilecek olan hasarlara karşı şimdiden çalışmalar yapmak önemlidir. Bu çalışmada üretilen nokta bulutu verisi; bakım, onarım, restorasyon ve röleve gibi çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışmanın bir diğer sonucu olarak söz konusu tarihi kervansarayın turizme daha fazla dahil edilmesi ve bulunduğu bölgeye katkı sağlaması öngörülmektedir. Bölgenin turizm potansiyelini arttırmak için yetkili kuruluşlar bu verileri kullanabilecektir.

Bu çalışmada elde edilen verilerin aynı zamanda tarihçiler ve arkeologlar için de önemli ve kullanılabilir nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Makalenin hazırlanması sürecinde desteklerini eksik etmeyen Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü personeli ve Konya Vakıflar Bölge Müdürü Nurullah OSMANLI'ya teşekkürlerimizi borç biliriz.

Yazarların Katkısı

Azim Metin: Saha çalışması ve iş akışı planlaması, veri toplama ve lazer tarama işlemleri, fikir, konsept ve yazma.

Engin Kanun: Ofis çalışması ve planlaması, veri işleme, lazer tarama işlemleri, literatür taraması ve yazma.

Murat Yakar: Veri analizi ve kontrol.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Ağzıkara Han (2021). Erişim adresi: <http://www.turkishhan.org/agzikara.htm>

Alptekin A, Çelik M Ö & Yakar M (2019a). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. Türkiye LİDAR Dergisi, 1(1), 1-4.

Alptekin A, Çelik M Ö, Doğan Y & Yakar M (2019b). Mapping of a rockfall site with an unmanned aerial vehicle. Mersin Photogrammetry Journal, 1(1), 12-16.

Altun A (1988). Ağzıkara Han. TDV İslâm Ansiklopedisi 1, 482-483. İstanbul

Binan C & Binan D U (2009). Ağzıkara Han Örneğinde Anadolu Selçuklu Dönemi Taşçı İşaretlerinin Belgelenmesi Üzerine Sistemik Bir Yaklaşım. Adalya, 12, 79-108.

Bulut M (2017). Geometrik sistemin çözümlenmesi Selçuklu örnekleri üzerine birkaç girişim. Sanat Tarihi Dergisi, 26(1), 27-44.

Caner-Saltık E N (1999). Taş ve seramik eserlerin özelliklerinin ve bozulmalarının koruma amacıyla incelenmesi. I. Ulusal Taşınabilir Kültür Varlıkları Konservasyonu ve Restorasyonu Kolokiyumu, Ankara, Türkiye, 107-117.

Caner Saltık E N, Akoğlu K G, Caner Özler E, Erdoğan K, Güney A, Sülüner S, Topal T, Tavukçuoğlu A, Toprak V, Türkmenoğlu A G, Üstünkaya M C & Yaşar T (2007). Inventory of Ancient quarry characteristics, production and state landscapes in Turkey: their of conservation. Quarry Scapes: Conservation of Ancient Stone Quarry Land scapes in the Eastern Mediterranean, 8-14.

Erener A & Yakar M (2012). Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technologies. Lecture Notes in Information Technology, 30, 310-314

Faro (2015). FARO® Laser Scanner Focus3D X 330. Erişim adresi: <https://downloads.faro.com/index.php/s/Pz65S7Q3P6zTPQf?dir=undefined&openfile=42079>

Özdoğan M V & Deliormanlı A H (2018). Yersel Lazer Tarayıcı ile Yeraltı Galerisinde Meydana Gelen Deformasyonların Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi - Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(59), 663-675.

Özdoğan M V (2015). Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler İle Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 183s, İzmir.

Özgüç T & Akok M (1956). Ağzıkara Han. Ankara Üniversitesi Akademik Arşiv Sistemi. Yıllık Araştırmalar Dergisi (yayınlanmıyor), 1, 93-95.

Petrie G & Toth C (2009). Terrestrial Laser Scanners. Topographic Laser Ranging and Scanning.

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (t.y.). Selçuklu Kervansarayları Denizli-Doğubayazıt Güzergâhı. Erişim adresi <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44413/selcuklu-kervansaraylari-denizli-dogubayazit-guzergahi.html>

Tavukçuoğlu A, Düzgüneş A, Caner-Saltık E N & Demirci Ş (2005). Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzıkara Han (Aksaray), Turkey. NDT E Int., 38(5), 402-410.

Tavukçuoğlu A (2001). Ortaçağ taş anıtlarında nem sorunları ve çözümleri, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.

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.

Vozikis G, Haring A, Vozikis E ve Kraus K (2004). Laser scanning: A new method for recording and documentation in archaeology. In Proceedings of FIG Working Week.

Yakar M, Yıldız F & Yılmaz H M (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.

Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu H M (2009). Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu O (2010). Comparative Evaluation of Excavation Volume by TLS and Total Topographic Station Based Methods. Lasers in Engineering 19 (5-6), 331-345

Yaman B & Ertunç Ç (2019). XIII. Yüzyıl Anadolu Taçkapıları'nda kullanılan madalyon ve kabaralar. İstem, 17(33), 127-148.

Yenil Ü & Akyazı N (2019). Sürdürülebilir turizm kapsamında kültürel iz koridoru değerlendirmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 1179-1192.

Yetiş Ş & Kaygısız N (2017). İpek Yolu Turizm Projesi kapsamında Kapadokya'da yer alan kervansarayların turizme kazandırılması. Journal of Social and Humanities Sciences Research, 4(11), 522-527.

Yılmaz H M & Yakar M (2008). Computing of Volume of Excavation Areas by Digital Close Range Photogrammetry. Arabian Journal for Science and Engineering 33 (1A), 63-79.

Yılmaz H M, Yakar M, Mutluoğlu O, Kavurmacı M M & Yurt K (2012). Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (SelimeAksaray-Turkey). Environ Earth Sci, 66, 75-81.



© Author(s) 2021.

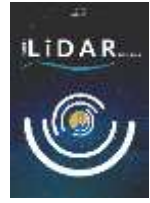
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye LiDAR Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği

Zekeriya KAÇARLAR¹ Seda Nur Gamze HAMAL*¹

¹Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

YLT,
Küçük Obje Modellemesi,
Arkeoloji,
3B Modelleme.

ÖZET

Kültürel miras eserlerinin Yersel Lazer Tarama (YLT) tekniği ile 3B sayısallaştırılması, tarihi koruma amaçları için oldukça önemlidir. Bunu yaparak, turizm, doğal afetler ve savaş hasarı gibi olaylara karşı eserlerin korunmasına yardımcı olurken, dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar için 3B verilere erişim sağlamaktadır. Bu makalede literatürde yapılan çalışmalar değerlendirilerek kullanılan yöntemler ele alınmıştır. Bu doğrultuda Mersin ilinde tarihi öneme sahip olan Soli Pompeopolis Antik kentinde bulunan taş blok yersel lazer tarayıcı ile taranmıştır. Tarama verileri ticari bir yazılımda birleştirilmiş ve kültürel mirasa ait 3B model oluşturulmuştur.

Laser Scanning Technique for 3D Modeling of Small Objects

Keywords

Terrestrial Laser Scanning,
Small Object Modeling,
Archaeology,
3D Modeling.

ABSTRACT

3D digitization of cultural heritage artifacts with Terrestrial Laser Scanner (YLT) technique is very important for historical preservation purposes. By doing so, it helps protect artifacts against events such as tourism, natural disasters and war damage, while providing access to 3D data for researchers around the world. In this article, the studies in the literature are evaluated and the methods used are discussed. In this direction, the stone block in the ancient city of Soli Pompeopolis, which has historical importance in Mersin, was scanned with a terrestrial laser scanner. The scan data were combined in a commercial software and a 3D model of the cultural heritage was created.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Kaynak Göster / Cite this article (APA);

(zekeriyakacarlar@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0232-9574

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.

*(sedanurgamzeshamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088

1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin gelişmesiyle beraber 3B modelleme, arkeolojik çalışmalar açısından farklı yöntemler kullanılmasına olanak sağlamıştır. 3B modeller, bir eser hakkında metrik ölçülerini, korunma durumunu ve yüzeyin özellikleri hakkında bilgi sunmaktadır (Alptekin vd., 2019; 2019b). Ayrıca eserlerin özellikle zaman içerisinde kaybolan kısımlarına ilişkin alanlar tamamlanabilmekte ve eserlerin üretildikleri dönemde nasıl göründüklerine dair bilgilere ulaşabilmektedir (Lastilla 2019). Kültürel miras paha biçilmez varlıklar olarak tanımlanmış, yüzyıllardır insanların sosyal yaşamlarını sonraki nesillere aktarmaktadır (Erene & Yakar, 2012; Ulvi & Yakar, 2014; Memduhoğlu vd., 2020). Kültürel mirasın doğru bir şekilde tanımlanması ve korunması ihtiyacı iyi anlaşılmıştır. Bilgisayarlar ve dijital cihazlar gibi yeni teknolojiler yeni pencereler açarak ve kültürel mirası koruma çabaları için yeni fırsatlar sağlamaktadır (Ulvi 2021; Taşdemir vd., 2008; Hamal vd., 2020; Ernst vd., 2021).

Kültürel mirasın korunması ve tanıtılması her geçen gün popüler bir hale gelmektedir. Bunun için tanıtım çok önemlidir. Kültürel Miras Toplumsal açıdan ve kentin kimliğinin temsili açısından kenti etkin kılmaktadır. Belgeleme, sunum ve iletişim etkin olarak kullanıldığında kentin tanıtımı doğru bir şekilde yapılabilmektedir (Korunmaz vd. 2011; Oruç, 2021; Yakar ve Yılmaz, 2008).

Metrik, yazılı, görsel belgeleme kültürel mirasın sorunlarının tespitinde gelecek nesillere bu mirasın aktarılmasında fayda sağlamaktadır. Günümüzde belgeleme çalışmaları teknoloji ile beraber yöntem çeşitliliği açısından oldukça zengin bir hal almıştır. Bu açıdan belgeleme yöntemleriyle kültürel mirasın kalıcı kılınması sosyal, kültürel, ekonomik açıdan şehri geliştirmesi ve önemli kılmasını sağlamaktadır. (Yakar vd., 2005; Uslu vd., 2016; Yaman & Kurt 2019).

Son zamanlarda, çeşitli yöntemler veya yaklaşımlar kullanılarak küçük eserlerin 3B belgelenmesi ve modellenmesi ile ilgili birçok girişim rapor edilmiştir. Bir eserin küçük obje olarak değerlendirilip dijitalleştirilmesinin temel özelliği onun boyutudur (Yakar vd., 2009; 2010). Arkeolojide anıtsal heykelleri saymazsak, modellenen nesnelere genellikle bir insan boyunu geçmezler. Müze objeleri, tarihi kutsal nesnelere içeren özel bir miras kategorisidir. Arkeoloji dışında küçük objelerin modellenmesi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zachar vd., 2017; Evcim, 2015; Mohammed ve Yakar, 2016).

Tablet ve küçük nesnelere gibi arkeolojik buluntularda uygulanan metodolojik ilkeler ve genel prosedürler açısından iyi tanımlanmış olsalar bile, özel olarak yapılan çalışmalarda yeni teknik çözümler olmalıdır (Yılmaz vd., 2008; 2012) Antik eserlerin doğru edinimi ve 'okunması' ile ilgili konular eserin büyüklüğü ve korunma durumuna göre değişmektedir (Lastilla 2019).

Kültürel mirasın 3B modellemesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Kültürel mirasta en çok kullanılanlar yersel fotogrametri, yapı sensörleri ve YLT'dir.

Yersel fotogrametri, ulaşılması zor yerleri yüksek hassasiyetle ölçmektedir. Sağladığı bu kolaylık zaman ve maliyet açısından fayda sağlamaktadır. Belgeleme ile

yapılan çalışmalar gelecek nesillere aktarılmada kolaylık sağlamaktadır (Yılmaz vd., 2008).

Yapı Sensörü, yapılandırılmış ışık menzilli bir kameradır. Kızılötesi lazer projektör ve frekans uyumlu kızılötesi kameradan oluşur. İlki, modellenen nesnelere yüzeyinde binlerce görünmez kızılötesi noktadan oluşan bir desen yayar, ikincisi ise ortamın orijinal deseni nasıl deforme ettiğini kaydeder ve böylece 3B geometriyi (şekil ve boyutlar) elde eder. Her koşulda, piyasada bulunan diğer seri kameralardan farklı olarak, Yapı sensörünün kendi renkli kamerası yoktur ve bu nedenle nesne dokusu, bağlı olduğu tablet/akıllı telefonun renkli kamerası tarafından yakalanmıştır (Ravanelli vd., 2017).

YLT tekniği LİDAR (Light Detection and Ranging-Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme) sistemi içerisinde yer almaktadır. Bu yöntemde taranan objeye ait üç boyutlu (3B) nokta bulutu hassas ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Elde edilen nokta bulutundan kültürel mirasın belgelenmesi için 3B modeli oluşturabilmektedir. Bu bağlamda, üretilecek nokta bulutunun sıklığı, metrik doğruluğu son derece önem ifade etmektedir. Bu doğrultuda YLT tekniğinin kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanımı artmaya başlamıştır (Sarı vd., 2020).

Lachat vd. (2017) çalışmalarında, farklı konuları kapsayan çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir; Yapılan çalışmada renk aralığının etkisi, küçük eserlerde uygulanan el tipi bir 3B tarayıcı kullanılarak geometrik bir sayısallaştırma için hassasiyetin yeterli olduğu gözlenmiştir (Şekil 1).

Metrik belgeleme ek olarak, heterojen morfolojilere sahip çanak çömleklerin orijinal halleriyle uzaktan çömlek çalışması yapmak için farklı sanal restorasyon yapılmasına izin vermiştir (Arbace 2013; Barreau vd., 2014; Tsiafaki vd., 2016; Lachat vd., 2017).



Şekil 1. 3B model için kullanılan, pişmiş topraktan üretilen İnka Öncesi antik eser (Lachat vd., 2017)

Lastilla (2019), yapmış olduğu çalışmada 3B model üretimi için YLT, yapı sensörleri ve yersel fotogrametri teknikleri tercih edilmiştir. Yapı sensörleri ile nesneyi kesen bir lazer düzlemi oluşturmak için silindirik bir

merceğe çarpan kırmızı bir lazer modülü (5mW, 650 nm) ile gerçekleştirilmiştir ve David-Laser scanner yazılımı [v.3.10.4] kullanılmıştır. Bu yazılım, lazer düzleminin hareket ettirilmesine izin veren gerçek zamanlı kendi kendine kalibrasyon avantajına sahiptir. Görüntüleri kaydetmek için 1280x1024 piksel çözünürlüğe sahip Thorlabs 1645c kamera kullanılmıştır. Görüntüler 10 fps'de çekilmiştir ve nesne her yeni tarama için 15° döndürülmüştür. Taramalar, David-Laserscanner kullanılarak birleştirilmiştir (Lastilla 2019).

Yapı sensörleri ile elde edilen 3B model 200-400 µm arasında bir çözünürlüğe sahiptir ve bu, nesnenin maksimum boyutunun %0.06'sı düzeyinde bir çözünürlüğü temsil etmektedir. Yapı sensörleri ile tarama iyi kalitede 3B görüntüler vermiştir, ancak dikey çizgiler oluşmuştur. Bunun nedeni, görüntü alma sıklığı tarama hızından daha az olmasıdır. Step motor kullanılarak bu etki kaldırılmıştır. YLT ile elde edilen çözünürlük de yapılandırılmış ışık taraması ve yersel fotogrametri ile benzer özelliktedir. David-Laserscanner ve MeshLab yazılımı kullanılmıştır (Lastilla 2019).

Elde edilen 3B modellerin olası deformasyonunu tahmin etmek için iki tür analiz gerçekleştirilmiştir. Bir yandan, modeldeki iki nokta arasındaki uzunluk, gerçek uzunlukla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, YLT ve yapılandırılmış ışık taraması ile elde edilen tek bir taramanın aynı bölgesinde ve yersel fotogrametri ile elde edilen modelin aynı bölgesinde yapılmıştır. Sonuçlar, ortalama yersel fotogrametri ve yapılandırılmış ışık taraması için %99,7 doğruluk göstermiştir. YLT için yatay yönde (göz eksenini) %96,2 ve dikey yönde (YLT yönüne dik) %99,2 doğruluk elde edilmiştir (Lastilla 2019).

Ravanelli vd., (2017), yapmış oldukları çalışmada Yapı Sensörünün kullanılabilirliğini ve hassasiyetini belirlemek için Kıbrıs-Fenike küresel testi (Şekil 2) 3B olarak modellenmiştir (Ravanelli vd., 2017).



Şekil 2. Kıbrıs-Fenike küresel testi (Ravanelli vd., 2017)

Uygulamada Oksipital adı verilen menzil kameraları tarafından sağlanan Yapı sensörü kullanılmıştır (Ravanelli vd., 2017). Tarama daha sonra fotogrametrik yöntemle karşılaştırılmıştır.

Özellikle, 3B model oluşturma, sensör hakkında tam bilgi toplamak için farklı bakış açılarından birden fazla tarama gerektiğinden, sensörün taranacak nesneyle ilgili olarak kendi hareketini güvenilir bir şekilde tahmin ettiği süreç olan izlemeye dayanmaktadır. Bu nedenle, çalışmada kullanıcı 360° bir yol izleyerek hedef nesnenin etrafında yavaşça hareket ettirilmiştir (Ravanelli vd., 2017).

Fotogrametrik teknik ile ilgili olarak ise Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak (Agisoft PhotoScan, 2017) 77 adet görüntü işlenmiştir. Görüntüler, 4160x3120 piksel çözünürlüğe, 3,79 mm odak uzaklığına ve 0,001168 mm CCD piksel boyutuna sahip bir akıllı telefonun kamerası tarafından çekilmiştir. Görüntü yönlendirme işlemi sırasında kamera parametreleri hem radyal hem de teğetsel katsayı dikkate alınarak düzeltilmiştir. Ayrıca, çözümü kısıtlamak ve sağlam bir blok hizalaması elde etmek için 5 ila 10 cm arasında değişen üç ölçek çubuğu kullanılmıştır. Yönlendirilmiş bloktan başlayarak yoğun bulut ve 3B ağ oluşturmuştur. Özellikle Yapı Sensörü ile elde edilen 3 boyutlu model ile her ikisini de karşılaştırmak için biri çok yüksek diğeri orta çözünürlükte olmak üzere iki model üretilmiştir (Ravanelli vd., 2017).

3B modeller oluşturulduktan sonra obje formatı ve ağları, CloudCompare yazılımında uygulanan yinelemeli en yakın nokta algoritması aracılığıyla kaydedilmiştir. Modelde hizalama yapabilmek için tahmini ölçek ve roto-çeviri parametreleri kullanılmıştır. Bu şekilde, iki fotogrametrik modelin her birinde oluşan ağdan Yapı Sensörü modelinin noktalarının işaretli mesafeleri için 3B rekonstrüksiyon doğruluğunu değerlendirmek mümkün olmuştur.

En farklı alanlar kulplar, taban ve çatlakların karşılıklı olarak yer aldığı yerlerdir. Bunların dışında kalan yüzeyler ise genellikle oldukça benzerdir. Kulpların ve çatlakların modellenmemesinin nedeni ince ve hassasiyet gerektirdiğinden yapı sensörü yetersiz kalmıştır. Tabanın modellenmemesinin nedeni olarak da telefon kamerası modelleme için yetersiz kalmıştır.

Bu makalede, YLT tekniği kullanılarak verilerin kültürel mirasın belgelemesi çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırılmıştır.

Çalışmada Mersin ilinin Soli Pompeopolis kentinde bulunan taş bloğun kültürel mirasın belgelenmesi kapsamında YLT tekniğini kullanılmıştır. Taramalar sonucunda objeye ilişkin nokta bulutu verisi elde edilmiş ve 3B modeli oluşturulmuştur.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak belirlenen Soli taş bloğu, Mersin'de Soli Pompeopolis antik kentinde yer almaktadır. Tarihi yaklaşık 3500 yıl öncesine dayanan Soli Pompeopolis Antik Kenti'nde yapılan kazı çalışmalarında, insanlık tarihinin en önemli filozoflarından, şair, matematikçi ve astronomi biliminin kurucusu Aratos'un anıt mezarında tarihi öneme sahip taş bloklar çıkartılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Taş blok örneği

3. METARYEL ve YÖNTEM

YLT tekniği herhangi bir objenin LİDAR teknolojisi vasıtasıyla örneklendiği veya tarandığı bir tekniktir. Lazer tarayıcı cihazından çıkan lazer ışını aracılığıyla nesne ile cihaz arasındaki mesafeyi ölçülebilmekte, nokta bulutu elde edilebilmekte ve bunun sonucu olarak istenilen detayın 3B modelini oluşturabilmektedir.

Çalışmada Faro Focus^s 350 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ölçülmek istenen alanın doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3 boyutlu nokta bulutları elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu cihazın içerisinde entegreli olarak çalışan 70 mega piksel HDR kamera yer almaktadır. Bu kamera ile panoramik çekilen fotoğraflar nokta bulutuna giydirilerek gerçekçi bir görünüm sunma imkânı vermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Faro FocusS350 lazer tarayıcısı

Prensip olarak bu cihaz, döner aynanın merkezine kızılötesi lazer ışını göndererek çalışmaktadır. Bu cihazın döner aynası, lazer ışını taranan çevreye yansıtır. cihazdan çıkan birden fazla lazer ışını gidiş-geliş zamanın tespit eder. Bu teknikte, cihazdan çıkan ve objeden yansıyan ışının sinüs dalgasına göre karşılaştırması yapılır ve faz farkı belirlenir. Böylelikle tarayıcı ile obje arasındaki mesafe yayılan sinyal ile alınan sinyal arasındaki faz farkının ölçülmesi sonucunda bulunmaktadır. Lazer tarayıcının teknik özellikleri Tablo1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. FARO Focus3D S350 Teknik Özellikleri

FARO Focus3D S350 Teknik Özellikleri	Değer
Ölçüm aralığı	0.6m - 330m
Ölçüm hızı	976.000m nokta/saniyeye
Ölçüm Doğruluğu (10-25) m ölçümler için)	±2 mm
Doğruluk	±5 mm
Görüş alanı (dikey/yatay)	300°V / 360°H
Lazer sınıfı	Sınıf 1

4. BULGULAR

Bu çalışmada taraması yapılan objenin her boyunun ayrıntılı olarak elde edebilmek için 6 adet istasyon noktası oluşturulmuştur. Başka bir deyişle, taraması yapılan eserin bir veya daha fazla cephesini görecektir şekilde belirlenmiş ve daha az gürültü oluşturmasına dikkat edilmiştir. Taş bloğun altı kısmının taranabilmesi için 4 ayaklı demirden yapılmış bir mekanizma yapılmıştır. Bu mekanizmanın üzerine taş blok yerleştirildikten sonra lazer tarayıcının yüksekliği taş bloğun hem alt kısmını hem de üst kısmını görebilecek şekilde ayarlanmıştır. Her tarama istasyonunda 11 dakikalık tarama gerçekleştirilmiştir.

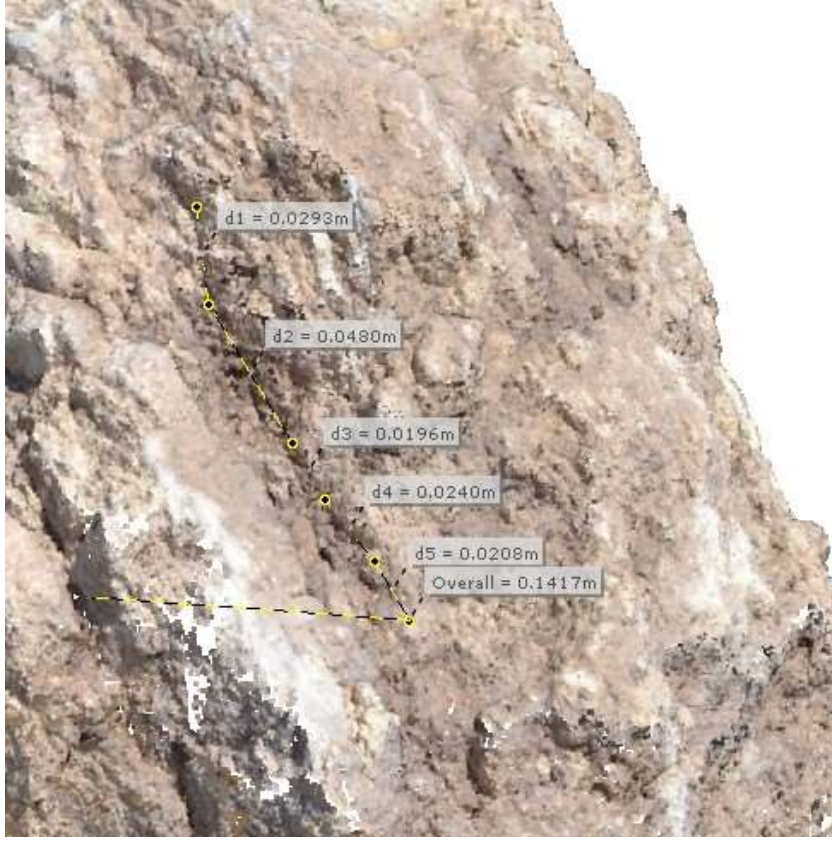
Yapılan taramalar sonucunda veri işleme aşamasına geçilmiştir. Faro cihazının kendi yazılımı olan Faro Scene kullanılmıştır. Tarama bu yazılımda buluttan buluta (cloud to cloud) tekniği ile ±0.7 mm hassasiyetle birleştirilmiştir. Birleştirme sonrası hedef objenin etrafında birçok dağınık ve gereksiz veriler oluşmuştur. Bu veriler silindikten sonra 3B nokta bulutu verisi elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Taş Bloğun nokta bulutu verisi

Yapılan çalışmanın arazi çalışması 75 dakika sürerken veri işleme aşaması 40 dakika sürmüştür.

Klasik ölçüm tekniklerinde arazi çalışması sırasında taş bloğun her ayrıntısı teker teker ölçülüp kaydedilmesi gerekmektedir. Ancak YLT tekniği ile arazi ölçümüne gerek duyulmadan 3B nokta bulutu verisi üzerinden ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Nokta bulutu verisi üzerinden uzunluk hesabı

5. SONUÇLAR

Mersin ilinde bulunan Soli Pompeopolis antik kentinde yapılan kazı çalışmasında tarihi önem sahip taş blokların 3B modeli YLT tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmanın arazi ve veri işleme toplam süresi 1 günü geçmemiştir. Aynı zamanda 3B nokta bulutu verisi üzerinden yüksek hassasiyetle ölçüler alınabildiği görülmüştür. Bu durum YLT tekniğinin zaman, hassasiyet ve görsellik açısından avantajlar sağladığı savunulmaktadır.

Çalışma sonucunda elde edilen hassasiyet değeri göz önünde bulundurulduğunda çalışmaya ait 3B model kültürel mirasın belgelenmesi çalışmalarında kullanılabilirliği savunulmuştur. Ayrıca tarihi eserlerin sayısal verilerinin dijital kütüphanelerde bulundurulması çeşitli disiplinlerin daha sonraki çalışmalarında ve gelecek nesillere aktarılmasında büyük kolaylık sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu doğrultuda kültürel mirasın belgelenmesi, korunması, restitüsyon ve restorasyon çalışmaları gibi farklı alanlarda kullanılabilirliği ve aynı zamanda YLT tekniği kullanılarak yapılabileceği 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.

6. KAYNAKÇA

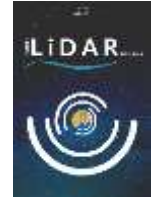
- Alptekin A, Çelik M Ö & Yakar M (2019a). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye LİDAR Dergisi*, 1(1), 1-4.
- Alptekin A, Çelik M Ö, Doğan Y & Yakar M (2019b). Mapping of a rockfall site with an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 12-16.
- Arbace L, Sonnino E, Callieri M, Dellepiane M, Fabbri M, Iaccarino Idelson A & Scopigno R (2013). Innovative Uses Of 3B Digital Technologies To Assist The Restoration Of A Fragmented Terracotta Statue. *Journal Of Cultural Heritage*, 14(4), 332– 345.
- Erener A & Yakar M (2012). Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310–314.
- Evcim S (2015). Arkeolojik Alanlarda Laser Ölçümle Belgeleme ve Kent Modeli Oluşturma Üzerine Bir Örnek: Olympos Antik Kenti. *The Journal of Academic Social Sciences*, 16(16), 1–15.
- Ernst F, Şenol H İ, Akdağ S & Barutcuoglu Ö (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160. DOI: 10.46578/humder.941015
- 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.
- Korunmaz A G, Dülgerler O G & Yakar M (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 26(3).
- Lastilla L (2019). 3D High-Quality Modeling Of Small And Complex Archaeological Inscribed Objects: Relevant Issues And Proposed Methodology. The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Volume 42(2), 2nd International Conference Of Geomatics And Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy.
- 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. DOI: 10.46578/humder.771954
- Mohammed O & Yakar M (2016). Yersel Fotogrametrik Yöntem İle İbadethanelerin Modellenmesi. Selçuk-Teknik Dergisi, 15(2), 85-95.
- Oruç M E (2021). Küçük objelerin modellenmesinde videogrametri ve fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 3(2), 62-68. DOI: 10.53030/tufod.1019385
- Ravanelli R, Nascetti A, Rita M D, Nigro L, Montanari D, Spagnoli F & Crespi M G (2017). 3D Modelling Of Archaeological Small Finds By A Low-Cost Range Camera: Methodology And First Results. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 589-592.
- 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.
- Taşdemir Ş, Yakar M, Ürkmez A & İnal Ş (2008). Determination Of Body Measurements Of A Cow By Image Analysis. International Conference On Computer Systems And Technologies-Compsystech'08, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 70, 1-8.
- Tsiafaki D, Koutsoudis A, Arnaoutoglou F & Michailidou N (2016). Virtual Reassembly And Completion Of A Fragmentary Drinking Vessel. Virtual Archaeology Review, 7(15), 67-76.
- 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 (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. International Journal of Remote Sensing, 42(6), 1994-2021.
- Uslu A, Polat N, Toprak A S, Uysal M (2016). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 165-176.
- Yakar M & Yılmaz H M (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölyeve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 23(2).
- Yakar M, Yıldız F & Yılmaz H M (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.
- Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu H M (2009). Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu O (2010). Comparative Evaluation of Excavation Volume by TLS and Total Topographic Station Based Methods. Lasers in Engineering 19 (5–6), 331–345.
- 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.
- Yılmaz H M & Yakar M (2008). Computing of Volume of Excavation Areas by Digital Close Range Photogrammetry. Arabian Journal for Science and Engineering 33 (1A), 63–79.
- Yılmaz H M, Yakar M, Mutluoğlu O, Kavurmaci M M & Yurt K (2012). Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (SelimeAksaray-Turkey). Environ Earth Sci, 66, 75–81.
- Zachar J, Milan Horňák & Predrag Novaković (2017). 3b Digital Recording Of Archaeological. Architectural And Artistic Heritage, ISBN:978961237898, 133.



© Author(s) 2021.

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



Lazer Tarayıcının Jeolojik Olayların Modellenmesinde Kullanımı

Aydın ALPTEKİN¹, Murat YAKAR²

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

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

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama,
Lazer tarayıcı,
Jeolojik olaylar.

ÖZ

Lazer tarayıcı teknolojisi son yıllarda hızla gelişmektedir. Bu teknolojinin mühendislik çalışmalarında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte mühendislerin işleri kolaylaşmaktadır. Lazer tarayıcı verileri hızlı bir şekilde ve yüksek çözünürlükte temin edilebilmektedir. Bu durum lazer tarayıcıları cazip bir hale getirmektedir. Lazer tarayıcılar; arkeolojide, doğal afetlerde, erozyon izlemede ve kazı hacminin belirlenmesinde eksi yönlerini de düşünerek kullanılabilir. Arazinin üç boyutlu (3B) modeli kolay bir şekilde oluşturulabilmekte ve arazideki küçük değişimler rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmada lazer tarayıcıların jeolojide kullanılabilirliği üzerinde durulacaktır. Jeolojik olayların yorumlanması, analiz edilmesi ve çözüm önerilerinin getirilmesi bu yöntemler sayesinde daha hassas ve pratik bir şekilde yapılabilmektedir.

Usage of Laser Scanner in Modeling Geological Events

Keywords

Remote sensing,
Laser scanner,
Geological events.

ABSTRACT

Laser scanner technology has been developing rapidly in recent years. With the use of this technology in engineering studies, the work of engineers becomes easier. Laser scanner data will be obtained quickly and in high resolution. This makes laser scanners attractive. Laser scanners can be used in archeology, natural disasters, erosion monitoring and determination of excavation volume considering the deficiencies. A three-dimensional (3D) model of the land can be created easily and small changes in the land can be easily observed. In this study, the usability of laser scanners in geology will be emphasized. Interpretation, analysis and solution proposals of geological events can be performed more sensitively and practically with this method.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama tekniklerinin sürekli olarak gelişmesi yer yüzeyini modellemede bize kolaylıklar sağlamaktadır. Objelere temas etmeden onların bilgisayar ortamında üç boyutlu (3B) modellenmesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda insansız hava araçları (İHA), uydu görüntüleri ve lazer tarayıcılar sıklıkla modelleme çalışmalarında kullanılmıştır.

Light Detection and Ranging (LiDAR), yüksek çözünürlük ve hassasiyette 3B veri almamızı sağlayan bir tekniktir. Kaynaktan çıkan lazer ışını objeye çarpıp tekrar kaynağa gelir ve kayıt altına alınır. Arada geçen zamandan objenin uzaklığı ve geometrik yapısı belirlenir. Lazer tarayıcılar hava (HLT), yersel (YLT) ve mobil lazer tarayıcı (MLT) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu tarayıcılar yüksek maliyetli olmasından dolayı her yerde bulunmamaktadır. YLT zemine monte edilerek dar alanlarda, HLT ise bir hava aracına monte edilerek geniş arazinin modellenmesinde tercih edilmektedir. MLT ise daha çok kara veya deniz aracının üzerine monte edilerek kullanılmaktadır.

Lidar; lazer tarayıcı, IMU ve GPS' ten oluşan bir sistemdir (Tepeköylü, 2016). Lidar sistemleri mobil, hava, yersel ve iha lidar olmak üzere 4 ana başlık altında sınıflandırılabilir (Makineci, 2016). Objeye ile lazer tarayıcı arasındaki mesafe lazer ışının süresiyle tespit edilir (Karasaka & Beg, 2021).

Lidar verilerinin zemine ait olan ve olmayan olarak ayrılmasına filtreleme denilmektedir (Şen & Bayaslı 2021). Sayısal arazi modelleme (SAM) işleminde filtreleme büyük bir öneme sahiptir. Sayısal arazi modeline etki eden faktörler; veri miktarı, enterpolasyon method ve grid aralığıdır (Navruz 2017). Yüksek nokta sıklığı sayısal arazi modeli (SAM) doğruluğunu arttırmaktadır. YLT' de nokta yoğunluğu fazladır. HLT' de veri eksikliği minimum seviyededir.

LiDAR verilerinin pek çok kullanım alanı vardır. Bu çalışmada lazer tarayıcıların jeolojik çalışmalarda kullanılması hakkında bilgiler verilecektir.

2. JEOLJİK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada lazer tarayıcı kullanarak yapılan obruk, heyelan, kaya düşmesi, fay karakterizasyonu, kıyı izleme, akarsu ağı ve arkeolojik çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Obruk çalışmaları

Yeraltı suyunun karbondioksitle çözünmesi sonucu oluşan karbonik asit zamanla çevresindeki kayalarda çözünme oluşturur ve yeraltında obruk adı verilen boşluklar oluşur. Obruklar tarım arazilerine, binalara ve yollara zarar vermektedir. Obrukların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun başlıca sebepleri yarı kurak iklim ve bilinçsiz tarım uygulamalarıdır. Obrukların haritalandırılması bize bölgenin hidrojeolojik özelliklerini belirlemede çok faydalı olacaktır. Türkiye'de Konya İli Karapınar ilçesinde bolca obruk gözlenmektedir.

Obruk risk haritasının oluşturulabilmesi için öncelikle obruk envanter haritasının oluşturulması

gerekmektedir. Obrukların haritalandırılması bölgenin hidrojeolojisinin anlaşılabilmesi için çok önemlidir.

Obruk çalışmaları geniş alanlara hitap ettiği için genellikle HLT kullanılmaktadır.

Zhu ve diğ. 2014 HLT kullanarak karstik bir arazideki obrukların envanter haritasını oluşturmuşlardır. Lidar verisinden DEM oluşturmuşlar, çöküntü havzalarının yerlerini belirlemişler, potansiyel obruk yerlerini belirlemişler ve arazide kontrolünü yapmışlardır. Bu şekilde 1683 adet obruk tespit etmişlerdir.

Filin ve ark. 2011 HLT kullanarak araziye 3B olarak karakterize etmişlerdir. Oluşturulan DEM verisinden obrukların genişliğini ve derinliğini belirlemişlerdir. Ayrıca obrukları çevreleyen jeomorfolojik özellikleri ortaya çıkartmışlardır. Kobal ve diğ. 2015 HLT kullanarak ormanlık bir alandaki 2660 adet obruk tespit etmişlerdir. Obrukların morfometrik yapısını belirlemişlerdir. Obrukların her birinin uzunluk, genişlik, derinlik, alan ve hacim bilgileri hesaplanmıştır.

2.2. Tektonik çalışmalar

Türkiye aktif fay hatları üzerinde yer almaktadır. Fay hatlarının düzenli olarak izlenmesi olabilecek tehlikenin önlenmesi için çok önemlidir.

Cunningham ve ark. 2006 HLT kullanarak bir arazinin 3B modelini oluşturmuştur. Terrasolid tarafından geliştirilen bir algoritma kullanarak bitki örtüsünü kaldırmış ve yüzey modeli oluşturmuşlardır. Yüzey modeli üzerinden arazideki fay hatlarını belirlemişlerdir.

Glennie ve ark. (2014) HLT kullanarak deprem öncesi ve sonrası arazi modeli oluşturmuşlar ve 3B deplasman değerini hesaplamışlardır. Meigs 2013 HLT verisini OpenTopography programını kullanarak modellemiştir. LaDiCaoz modülünü kullanarak fayın atım miktarını belirlemişlerdir.

2.3. Kıyı izleme

Kıyılar, dalga ve rüzgâr erozyonuna maruz kalmaktadır. Ayrıca küresel ısınma ile birlikte deniz suyu seviyesi yükselmektedir. Bu bölgelerin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir.

Alptekin vd. 2020b Mersin Akyar Falezini' ni YLT kullanarak modellemiştir. Falez karbonatlı kayalardan oluşmaktadır ve dalga erozyonuna maruz kalmaktadır.

2.4. Akarsu erozyonu

DEM verisi sayesinde akarsu drenaj ağı ve havzanın morfolojik özellikleri çıkartılabilir.

Perroy ve ark. 2010, Akarsu erozyonu belirlemek için hava ve yersel lazer tarayıcı kullanmışlar ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır. HLT nin az çözünürlüklü ama hızlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Cavalli ve ark. 2008 HLT kullanarak akarsu yatağındaki morfolojik değişimleri incelemişlerdir. TerraScan yazılımı kullanarak bitki örtüsünü kaldırmışlardır. Açık kaynak kodlu TauDEM yazılımını kullanarak morfolojik parametreler tespit edilmiştir.

2.5. Hidrojeoloji

Çelik ve diğ. 2014 yılında yaptıkları bir çalışmada HLT kullanarak bir taşkın sahasını modellemiştir. Arazinin SYM üretmişler ve ArcGIS' te hidrolojik modelleme yapmışlardır.

Büyüksalih ve Gazioğlu 2019 HLT kullanarak Melen Baseni' nin 3B modelini oluşturmuşlardır. DEM verisini kullanarak CBS ortamında eğim ve bakı haritaları oluşturmuşlar ve akım yönlerini belirlemişlerdir.

2.6. Kaya düşmesi

Kaya düşmesi, kaya kütesinin ani bir hareketle yerinden çıkarak yer çekimi etkisiyle aşağı yönde yuvarlanması olarak tanımlanır. Dağlık alanlarda en sık görülen doğal afet olan kaya düşmesi insanlara ve yapılara zarar vermektedir.

Alptekin & Yakar 2020a Mersin Erdemli Karahıdırlı' da bulunan bir kaya düşmesi sahasını YLT kullanarak modellemiştir.

2.7. Heyelan

Toprak kütleleri üzerindeki kuvvetlerin değişmesi sonucu zemin duyarlılığını yitirmektedir. Bu durumda kütle hareketi görülmekte ve zemin yamaç aşağı yönde hareket etmektedir. Hızlı ve plansız yapılaşma heyelanın görülmesinde en belirleyici unsurdur. Tektonik hareketler, aşırı yağışlar ve kontrolsüz kazılar en belirgin tetikleyici unsurlardır.

Kasai vd. 2009 heyelan bölgesinde HLT kullanarak yüksek çözünürlüklü sayısal yüzey modeli oluşturmuşlardır.

Tseng vd. 2013 HLT kullanarak heyelan bölgesini modellemiş ve arazinin çıplak sayısal modelini (DTM) oluşturmuştur. DTM verisinden heyelanın hacmini belirlemiştir.

2.8. JeoArkeoloji

Kültürel mirasımızın korunması, gerektiği durumlarda restore edilmesi ve gelecek nesillere aktarılması için bilgisayar ortamında yüksek çözünürlükte modellenmesi gerekmektedir. Lazer tarayıcılar ile dakikalar içerisinde objeye temas etmeden objenin 3B modeli oluşturulabilmektedir. Böylece obje kayıt altına alınmaktadır. Tarihi eserler yıllar içerisinde insanlar ve tabiat olaylarından olumsuz etkilenmektedir. Son yıllarda jeoArkeoloji çalışmalarında YLT kullanımı yaygınlaşmıştır.

Alptekin ve diğ. 2019a Mersin Kanlıdivane' de bulunan bir anıtmezarı YLT kullanarak modellemişlerdir. Alptekin ve diğ. 2019b Mersin Erdemli'de bulunan Üçayak Harabeleri' ni YLT kullanarak modellemişlerdir. Kaya ve diğ. 2021 tarafından YLT kullanarak Konya ili Yunuslar Mahallesi' nde arkeolojik kazı alanının modellenmesi YLT ile yapılmıştır. Yakar vd. 2014, Mersin Uzuncaburç'ta YLT kullanarak arkeolojik kazı alanını modellemişlerdir. Ulvi ve Yakar 2014, Mersin Kızkalesi'nde YLT kullanmışlardır.

2.9. Arazi hacmi

İnşaat projelerinde ve maden sektöründe projenin maliyet hesabı için kazı hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için son yıllarda LiDAR verileri kullanılmaktadır.

Yakar vd. 2009 tarafından bir kum ocağının hacim hesabı YLT ile yüksek doğruluk oranında belirlenmiştir.

Yakar vd. 2010 tarafından bir kazı alanının hacmi jeodezik, robotik total station ve lazer tarayıcı metodlarıyla belirlenmiş ve en doğru sonuç veren yöntemin YLT olduğu belirtilmiştir.

3. LİDAR VERİSİNİN İŞLENMESİ

LiDAR verileri yoğun nokta bulutu içerdiğinden dolayı büyük hacme sahip verilerdir. Bu verilerin işlenmesi için üst düzey bilgisayarlara ihtiyaç vardır.

Son yıllarda sıklıkla kullanıldıklarından dolayı verilerin işlenebileceği programların sayısı da artmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanları Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 1. LiDAR verisini işleyen programlar (Polat and Uysal 2016)

Ticari	Açık kaynak kodlu
VRMesh survey	Cloudcompare
LIDAR Analyst	LViz
LiForest	Points2Grid Utility
Global Mapper	BCAL LiDAR Tools
QTModeler	River Bathymetry Toolkit
TerraScan	SAGA GIS
Makai Voyager	DielmoOpenLidar

Nokta bulutunun verileri zemin ve zemin olmayan olarak gruplandırılır. Bunun için genellikle Cloth simulation filter (CSF) algoritması kullanılmaktadır. Algoritmanın detayları Karasaka ve Keleş 2020 tarafından açıklanmıştır. Ayrıca QGIS programı içerisindeki lastools eklentisi ile filtreleme işlemi yapılabilmektedir.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda jeolojik çalışmalarda uzaktan algılama tekniklerinden olan LiDAR yöntemi sıklıkla kullanılmıştır. Gelecekte bu yöntem daha sık kullanılacak ve pek çok jeolojik sorunun çözümüne katkıda bulunacaktır.

LiDAR verisi yüksek nokta sıklığı içerdiğinden dolayı araziye yüksek doğrulukta yansıtılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yakın zamanda LiDAR sistemi ekonomik bir şekilde kullanılabilir olacaktır.

Yazarların Katkısı

Aydın Alptekin: Literatür taraması, Makale yazımı; **Murat Yakar:** Düzenleme

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 (2019a). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 1 (1), 1-4.
- Alptekin A, Fidan Ş, Karabacak A, Çelik M Ö & Yakar M (2019b). Üçayak Örenyeri'nin yersel lazer tarayıcı kullanılarak modellenmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 1 (1), 16-20.
- Alptekin A & Yakar M (2020a). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. Türkiye Lidar Dergisi, 2 (1), 1-4.
- Alptekin A & Yakar M (2020b). Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. Türkiye Lidar Dergisi, 2(1), 5-9.
- Büyüksalih İ & Gazioğlu C (2019). New Approach in Integrated Basin Modelling: Melen Airborne LIDAR. International Journal of Environment and Geoinformatics, 6(1), 22-32.
- Cavalli M, Tarolli P, Marchi L & Dalla Fontana G (2008). The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology. Catena, 73(3), 249-260.
- Cunningham D, Grebby S, Tansey K, Gosar A & Kastelic V (2006). Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, southeastern Alps, Slovenia. Geophysical Research Letters, 33(20).
- Çelik H, Baş N & Coşkun H G (2013). Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LiDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 117-125.
- Filin S, Baruch A, Avni Y & Marco S (2011). Sinkhole characterization in the Dead Sea area using airborne laser scanning. Natural Hazards, 58(3), 1135-1154.
- Glennie C L, Hinojosa-Corona A, Nissen E, Kusari A, Oskin M E, Arrowsmith J R & Borsa A (2014). Optimization of legacy lidar data sets for measuring near-field earthquake displacements. Geophysical Research Letters, 41(10), 3494-3501.
- Karasaka L & Beg A A R (2021). Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi. Geomatik, 6(1), 54-60.
- Karasaka L & Keleş S H (2020). CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(2), 267-275.
- Kasai M, Ikeda M, Asahina T & Fujisawa K (2009). LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. Geomorphology, 113(1-2), 57-69.
- Kaya Y, Yiğit A Y, Ulvi A & Yakar M (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. Harita Dergisi, 165, 57-72.
- Kobal M, Bertonecelj I, Pirotti F, Dakskobler I & Kutnar L (2015). Using lidar data to analyse sinkhole characteristics relevant for understory vegetation under forest cover—Case study of a high karst area in the Dinaric Mountains. PloS one, 10(3), e0122070.
- Makineci H B (2016). İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi. Geomatik, 1(1), 19-23.
- Meigs A (2013). Active tectonics and the LiDAR revolution. Lithosphere, 5(2), 226-229.
- Navruz M (2017). Airborne Lidar ve Dted2 Verilerinde Yükseklik (H) Karşılaştırması. Geomatik, 2(3), 112-117.
- Perroy R L, Bookhagen B, Asner G P & Chadwick O A (2010). Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. Geomorphology, 118(3-4), 288-300.
- Polat N & Uysal M (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 679-692.
- Şen A & Bayaşlı B (2021). Hava Lidar verilerinin denetimsiz yapay sinir ağları kullanılarak filtrelenmesi. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 8(1), 18-29.
- Tepeköylü S (2016). Mobil Lidar Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri. Geomatik, 1(1), 1-7.
- Tseng C M, Lin C W, Stark C P, Liu J K, Fei L Y & Hsieh Y C (2013). Application of a multi-temporal, LiDAR-derived, digital terrain model in a landslide-volume estimation. Earth Surface Processes and Landforms, 38(13), 1587-1601.
- 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.
- 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 (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama Ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.

Zhu J, Taylor T P, Currens J C & Crawford M M (2014). Improved Karst Sinkhole Mapping In Kentucky Using Lidar Techniques: A Pilot Study In Floyds Fork Watershed. *Journal of Cave & Karst Studies*, 76(3).

Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu Ö (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng.*, 19, 331-345.



© Author(s) 2021.

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