

e-ISSN
2717-6797

TÜRKİYE

LiDAR DERGİSİ

Turkish Journal of LiDAR



Cilt/Vol: 5
Sayı/ Issue: 2
Aralık/December, 2023



Türkiye LiDAR Dergisi



Dergi Hakkında

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

Amaç & Kapsam

Türkiye LiDAR Dergisi,

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

Türkiye LiDAR Dergisinin kapsamı;

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

Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

ISSN

2717-6797

WEB

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

İletişim

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



Turkish Journal of LiDAR

About Journal

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

Aim & Scope

Turkish Journal of LIDAR,

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

The scope of Turkish Journal of LIDAR;

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

Publication frequency

Biannual (June-December)

ISSN

2717-6797

WEB

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

Contact

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



Türkiye LiDAR Dergisi
Turkish Journal of LiDAR

EDİTÖR / EDITOR

Abdurahman Yasin Yiğit

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

EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

- **Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**, Aksaray University
hmuraty@gmail.com,
- **Prof. Dr. Khalil Valizadeh KAMRAN**, University of Tabriz, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Department of Remote Sensing and GIS, Tabriz, Iran
valizadeh@tabrizu.ac.i
- **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. 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
- **Dr. Atta-ur RAHMAN**, Department of Geography and Geomatics,
University of Peshawar-Pakistan
atta-urrehman@uop.edu.pk

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

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

LiDAR Dergisi Dil Editörleri / LiDAR Journal Language Editors

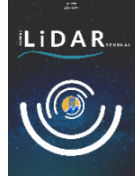
Res. Asst. Halil İbrahim ŞENOL, Harran University
hse nol@harran.edu.tr

İçindekiler

Contents

Araştırma Makaleleri; Research Articles**;

Sayfa/Page No	Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name
45-51**	Hava Lidar Verisi Üzerinde K-Ortalamalar ve Bulanık C-Ortalama ile Bina Çıkarımı Building Extraction with K-Means and Fuzzy C-Means on Airborne Lidar Data Şeyma Akça
52-60**	Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği Usability of Wearable Mobile LiDAR in Cadastre Atilla Karabacak & Murat Yakar
61-67**	Küçük Objelerin Modellenmesinde El Tipi Lazer Tarayıcı Kullanılması Using a Handheld Laser Scanner in Modeling Small Objects Zekeriya Kaçarlar & Ali Ulvi
68-75**	Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı The Use of Terrestrial Laser Scanners in Modeling Historical Bridges Adem Kabadayı



Hava Lidar Verisi Üzerinde K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalama ile Bina Çıkarımı

Şeyma Akça ^{1*} 

^{1*} Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63290, Şanlıurfa, Türkiye; (seymakca@harran.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
seymakca@harran.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Akça, Ş. (2023). Hava Lidar verisi üzerinde K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalama ile Bina Çıkarımı. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 5(2), 45-51.

Geliş : 13.09.2023
Revize : 11.10.2023
Kabul : 01.11.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Otomatik bina çıkarımı, kentsel planlama, afet yönetimi, 3 boyutlu (3B) bina modelleme, arazi değerlendirme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanlarının güncellenmesi gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bu uygulamalarda, özellikle şehirlerin büyümesi ve gelişmesi ile birlikte bina yerleşimleri giderek karmaşık hale gelmektedir. Bu karmaşıklık, geleneksel yöntemlerle bu verilerin elde edilmesini ve güncellenmesini zorlaştırmaktadır. Kümeleme, veri içindeki desenleri ve benzer yapıları bulmayı amaçlayan bir veri analizi yöntemidir. Bu yöntem, genellikle büyük veri kümelerinde bilgi çıkarmayı basitleştirmek için kullanılır. Özellikle makine öğrenimi, veri madenciliği ve görüntü analizi gibi alanlarda, veri analizi süreçlerinde büyük bir öneme sahiptir. Veri analizi, verilerdeki önemli bilgileri çıkarmak ve bu bilgileri anlamak için temel bir araçtır. Lidar, darbeli lazer kullanarak kendi konumundan Dünya'nın yüzeyine olan mesafeyi ölçen ve Dünya'nın şekli ve formu hakkında üç boyutlu bilgi sunan bir uzaktan algılama yöntemidir. Hava Lidar verileri, özellik çıkarma, arazi modelleme ve Sayısal Yüzey Modeli oluşturma gibi uygulamalar için birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Lidar, geleneksel veri toplama yöntemlerinden farklı olarak daha az iş gücü ile üç boyutlu veri oluşturma imkanı sağlar. Ancak Lidar verileri üzerinden otomatik bina çıkarımı, verinin doğası gereği karmaşık bir konudur. Bu çalışmada, Lidar verilerinden otomatik bina çıkarımı, nokta bulutu işleme ve analizi için önerilen yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Özellikle, K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalamlar kümeleme yöntemleri, farklı bina sayıları içeren veri setlerine uygulanmıştır. Sonuçlar, K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalamlar yöntemlerinin benzer sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Nokta verilerinin yakınlığı, düzeni ve geometrik yapısı, kümeleme yöntemlerinin daha doğru sonuçlar üretmesinde önemli bir etken olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lidar, K-Ortalamlar, bulanık C-Ortalama, bina çıkarımı, nokta bulutu.

Building Extraction with K-Means and Fuzzy C-Means on Airborne Lidar Data

*Corresponding Author:
seymakca@harran.edu.tr

Research Article

Citation: Akça, Ş. (2023). Building Extraction with K-Means and Fuzzy C-Means on Airborne Lidar Data. *Turkish Journal of LiDAR*, 5(2), 45-51 (in Turkish).

Received : 13.09.2023
Revised : 11.10.2023
Accepted : 01.11.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Automatic building extraction plays a crucial role in many fields such as urban planning, disaster management, 3D building modeling, land evaluation, and updating GIS databases. Clustering is a data analysis method aimed at finding patterns and similar structures within the data. This method is often used to simplify information extraction in large datasets and holds significant importance, especially in fields like machine learning, data mining, and image analysis, serving as a fundamental tool in data analysis processes. Lidar is a remote sensing method that measures the distance from its location to the Earth's surface using pulsed laser and provides three-dimensional information about the shape and form of the Earth's surface. Lidar offers the advantage of obtaining three-dimensional data with less effort compared to traditional data sources. However, automatic building extraction from Lidar data remains a complex issue due to the inherent nature of the data. In this study, automatic building extraction from Lidar data was conducted using clustering-based approaches with the recommended methodology for point cloud processing and analysis. Specifically, the K-Means and Fuzzy C-Means clustering methods were applied to datasets containing different numbers of buildings. The results indicated that both K-Means and Fuzzy C-Means methods produced similar results. It was observed that the proximity, arrangement, and geometric structure of the point data played a significant role in the accuracy of the clustering methods.

Keywords: Lidar, K-Means, fuzzy C-Means, building extraction, point clouds.

1. Giriş

Otomatik bina çıkarımı, kentsel planlama, afet yönetimi, 3 boyutlu (3B) bina modelleme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanlarının güncellenmesi, arazi değerlemesi ve afet yönetimi gibi birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır (Akbulut vd., 2018; Awrangjeb ve Fraser, 2014; Adjiski vd., 2023).

Kümeleme, veri içerisindeki örüntü ve benzer yapıları bulmayı amaçlayan; makine öğrenimi, veri madenciliği, örüntü tanıma, görüntü analizi ve biyo-informatik gibi çeşitli alanlarda veri analizi için kullanılan bir veri tanımlama yöntemidir (Neeraj ve Maurya, 2020). Kümeleme yöntemleri, etiketli veri gerektirmeyen denetimsiz öğrenme yaklaşımıdır. Kümeleme yöntemleri olasılıksal, katı ve bulanık kümeleme yöntemleri olarak üç gruba ayrılır. Katı kümeleme yöntemlerinde bir veri yalnızca bir kümeye seçilirken; bulanık kümeleme yöntemlerinde, değer belirli bir üyelik derecesine sahip olup birden fazla kümeye ait olabilmektedir (Panda vd., 2012). Olasılıksal kümeleme yöntemleri ise kümelenecek noktanın bir oranlamaya bağlı olarak, söz konusu küme merkezine olan uzaklığıyla ters orantılı olacak şekilde atama yapılan yöntemlerdir (Ben-Israel ve Iyigun, 2008).

Lidar (*Light Detection and Ranging*), bulunduğu konumdan darbeli lazer ile Dünya'ya olan mesafeyi ölçüp Dünya yüzeyinin şekli ve formu hakkında 3B bilgi sunan bir uzaktan algılama yöntemidir (Polat ve Uysal, 2016). Lidar'ın avantajı, geleneksel veri toplama yöntemlerine nazaran daha az iş gücü ile 3B verilere sahip olma olanağı sunmasıdır. Hava Lidar sistemi genellikle bir uçak üzerine monte edilir ve Küresel Konumlama Sistemi (KKS) ve Ataletsel Navigasyon Sistemi (ANS) sistemleriyle desteklenir. Temel olarak bir verici tarafından lazer darbeleri gönderilir ve geri dönen lazer ışını alınarak hassas bir şekilde toplanan 3B yoğun nokta bulutu verisi oluşturulur. Sinyal gönderimi ve alımı arasındaki seyahat süresi kullanılarak 3B nokta bulutu verileri oluşturulur. Hava Lidar verileri, özellikle özellik çıkarma ve zemin modelleme ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) oluşturma uygulamaları için birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Bina, ağaç vb. gibi özellikleri çıkarmak ve zemin modelleri oluşturmak için öncelikle zemin ve zemin olmayan arasındaki ayrımın yapılması gerekmektedir. Böylece çıkartılan zemin noktaları, arazi modellemesi ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) oluşturulması için kullanılabilir (Sevgen ve Karsli, 2020).

Literatürde nokta bulutundan bina çıkarımı çalışmaları incelendiğinde; (Du vd. 2017) nokta ve grid tabanlı yaklaşımlar ile bina çıkarımı gerçekleştirmişlerdir. Bitkiler ile binaları birbirinden ayırmak için normal vektörün varyansına dayalı bir

yöntem önermişlerdir. Lidar ve ortofoto verilerine dayalı, NDVI ve entropi de bitki ve binaların ayrımında kullanılmıştır (Gilani vd., 2016). Bina çıkarımında morfolojik filtreleme tabanlı yaklaşımlar olduğu (Meng vd., 2009; Cheng vd., 2013; Mongus vd., 2014) gibi çok bilinen RANSAC algoritması ile de bina çıkarımı gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur (Verma vd., 2006; Tarsha-Kurdi vd., 2008; Chen vd., 2012). Bunun yanısıra denetimsiz öğrenme yöntemleriyle bina çıkarımı yapılmıştır (Yang vd., 2013; Miliarsis ve Kokkas, 2007). Belirtilen çalışmalar verinin kendi yapısına nazaran ayrıca bir donanım ve hesaplama maliyeti gerektirdiğinden bu makale kapsamında nokta bulutundan bina çıkarımı için hesaplama maliyeti daha düşük olan kümeleme tabanlı bir metodoloji önerilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada kümeleme tabanlı K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalama (BCO) yöntemleri ile Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Bergama bölgesine ait Lidar verisi üzerinde bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir (Kayı vd., 2015; Zeybek, 2022). BCO, K-Ortalamlar kümelemesine algoritmaları yakın sonuçlar üretmiştir.

2. Yöntem

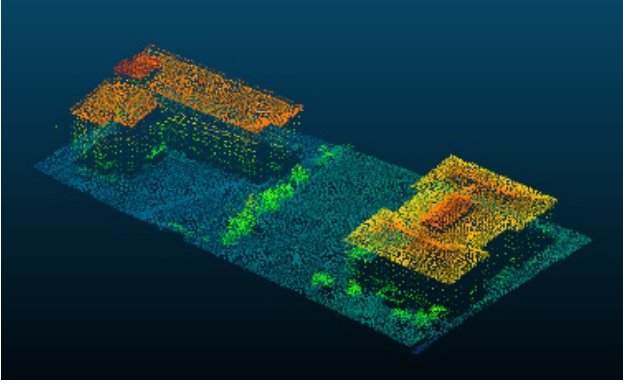
2.1. Çalışma Bölgesi ve Lidar Verisi

Çalışmada Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan Bergama Lidar verisi kullanılmıştır. Riegl LMS-Q1560 LiDAR sensörü kullanılarak ölçüm yapılan Lidar verisi için referans koordinat sistemi WGS 84 / UTM zone 35N olarak tanımlanmıştır. Uçuş yüksekliği 1200 m olup nokta yoğunluğu metrekareye minimum 8 nokta içerecek şekilde, 32 kolon ve %25 bindirmeli olarak uçulmuştur (Kayı vd., 2015; Sevgen, 2019; Zeybek, 2022). Şekil 1'de çalışma bölgesine ait görsel verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Bölgesi Bergama (Kayı vd., 2015'ten değiştirilerek).

Bergama Lidar verisinden farklı sayılarda bina içerecek şekilde 4 farklı veri seti oluşturulmuştur (Bkz. Tablo 1). Oluşturulan farklı sayıda bina içeren veri setlerinden 2 binaya ait veri seti 1 Şekil 2’de verilmiştir. Veri setlerinden zemine ait nokta bulutu, eşik değeri verilerek ayrılmıştır. Ardından K-Ortalamlar ve BCO ile bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya ait uygulama MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Veri seti 1’e ait Lidar verisi.

Tablo 1. Veri setleri ve içerdiği bina ve referans nokta sayısı

Veri seti	1	2	3	4
Bina sayısı	2	3	4	5
Bina 1	15162	445	2595	642
Bina 2	10509	687	2772	646
Bina 3	-	742	1993	676
Bina 4	-	-	2146	762
Bina 5	-	-	-	651

2.2. K-Ortalamlar

K-Ortalamlar m adet verinin belirlenen mesafe fonksiyonuna bağlı olarak K adet kümeye ayrılması sağlayan bir yöntemdir. Kümedeki her bir nesnenin mümkün olduğu kadar birbirine yakın olması hedeflenirken, diğer kümelerle oldukça uzak olması sağlanır. Her küme sahip olduğu bir küme merkezi (*centroid*) karakterize edilir. Küme merkezi, kümelerdeki verinin konum değerlerinin ortalamasıyla üretilir. K-Ortalamlar yönteminde rastgele belirlenen küme sayısı çoğunlukla arama uzayında küresel minimum çözümü için gerekli olan başlangıç noktasına bağlı olduğu gibi kullanıcı tarafından belirlenen küme sayısı ile de kümeleme ve küme merkezi üretilebilir. Süreç, verideki her bir değer bir kümeye atanana kadar ve küme merkezleri değişmeye kadar iteratif olarak devam eder (Ghosh ve Dubey, 2013; Ng, 2000). K-Ortalamlar yöntemi görüntü sınıflandırma (Lv vd., 2019) ve görüntü segmentasyonu (Dhanachandra vd., 2015), doğal dil işleme de semantik girdilerin kümelenmesi (Alhawarat ve Hegazi, 2018) gibi alanlarda uygulanmıştır. K-Ortalamlar denklemi J ile tanımlanır,

Burada, önceden de belirtildiği üzere k küme sayısını, m veri sayısını, c_j küme merkezini ve $x_i^{(j)}$ ’nin kümedeki i .ninci değeri ifade eder (Eşitlik 1).

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (1)$$

2.3. Bulanık C-Ortalama (BCO)

1981 yılında Bezdek (Bezde vd., 1984) tarafından geliştirilen Bulanık C-Ortalama yöntemi, K-Ortalamlar gibi özellik çıkarımı, kümeleme ve sınıflandırıcı seçimi gibi çeşitli problemlerde uygulanan bir denetimsiz öğrenme yöntemidir. BCO ile veri setindeki her bir değer küme merkezine yakın veya uzak olmasına bağlı olarak $[0,1]$ arasında değişen bir üyelik değerine sahip olur ve buna bağlı olarak birden fazla kümeye atanabilir (Peker ve Kubat, 2021). Küme içi karesel hata toplamı minimum olacak şekilde, veri belirlenen k adet kümeye iteratif olarak ayrılır. BCO amaç fonksiyonu, $1 \leq n < \infty$ aralığına bağlı olarak minimize edilir (Ghosh ve Dubey, 2013; Kang vd., 2009; Suganya ve Shanthi, 2012). Eşitlik 2’deki m , bulanıklık değerini ifade etmektedir.

$$J = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^c u_{ij}^n \|x_i - v_j\|^2 \quad (2)$$

v_j ile ifade edilen küme merkezleri Eşitlik (3) ile hesaplanır.

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^m u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^m u_{ij}^m} \quad (3)$$

Üyelik değeri u_{ij} , öncelikle rasgele atanır ve Eşitlik (4)’e göre güncellenir.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - v_{ik}\|}{\|x_i - v_{jk}\|} \right)^{2/(n-1)}} \quad (4)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Veri setleri üzerinde K-Ortalamlar ve BCO ile yapılan kümeleme sonuçlarına ait bina çıkarımları aşağıda sunulmuştur.

Şekil 3’te verilen veri seti 1’e ait kümeleme sonuçları incelendiğinde, her iki yöntemle yapılan analiz sonucunda binalara ait noktalar başarılı bir şekilde kümelenmiştir. Her iki yöntem de mevcut verinin tamamını bir sınıfa dahil etme yaklaşımı ile çalıştığı için, yapısal olarak binaya ait olmayan bazı noktalarda yakın olduğu kümeye dahil edilmiştir. Yöntemlerin hesapladığı küme merkezleri X ve Y yönünde aynı değerde olmalarına karşın Z ekseninde

farklılık göstermektedir. Küme merkezlerindeki farklılığa rağmen elde edilen sonuçlar benzerdir. Her iki yöntem farklı bina şekillerine rağmen kümeleme işlemini gerçekleştirebilmiştir.

Veri seti 2’de farklı geometrik formda olan binalar arasında her iki yöntem arasında yalnızca 2 noktanın kümelenmesi farklılık göstermiş olup (bkz. Tablo 2) şekilde de görüldüğü üzere üretilen sonuçlar birbirine çok yakındır.

Şekil 5’te verilen veri seti 3’e ait sonuçlar incelendiğinde K-Ortalamlar ve BCO yöntemleri arasında 11 noktanın kümelenmesinin farklılık gösterdiği görülmüştür. Şekil 5’te verilen K-ortalamlar sonucunda daire içerisinde bu farklılık gözükmemektedir. Nokta sayısının fazla olduğu bu veri setinde binaların sıralanış yapısı da kümeleme algoritmalarının performansında etkili olmuştur. Binaların birbirine karşılıklı olarak yakın olması ortaya çıkan kümeleme farklılığının temel sebebidir.

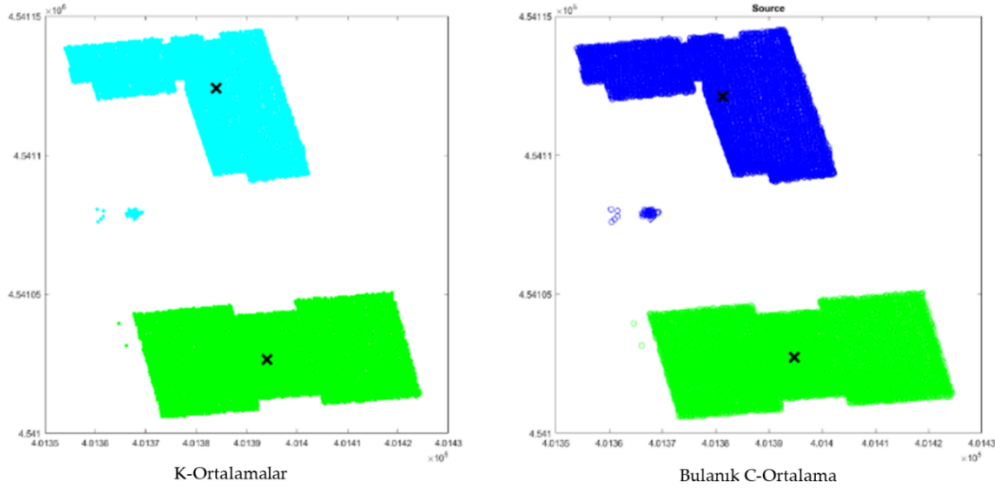
Şekil 6’da verilen veri seti 4’e ait sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem içinde kümelere atanan nokta sayısı ve buna bağlı bina çıkarımı birebir aynı olmuştur. Noktaların oluşturduğu binaların yan yana

konumlanması yöntemlerin iyi sonuç üretmesinde etkindir. Bina çıkarımı için kümeleme sonrası atanan nokta sayıları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 1’de verilen binalara ait referans nokta sayıları ile kümeleme sonrasında atanan noktalar arasındaki farklar yine Tablo 2’de belirtilmiştir.

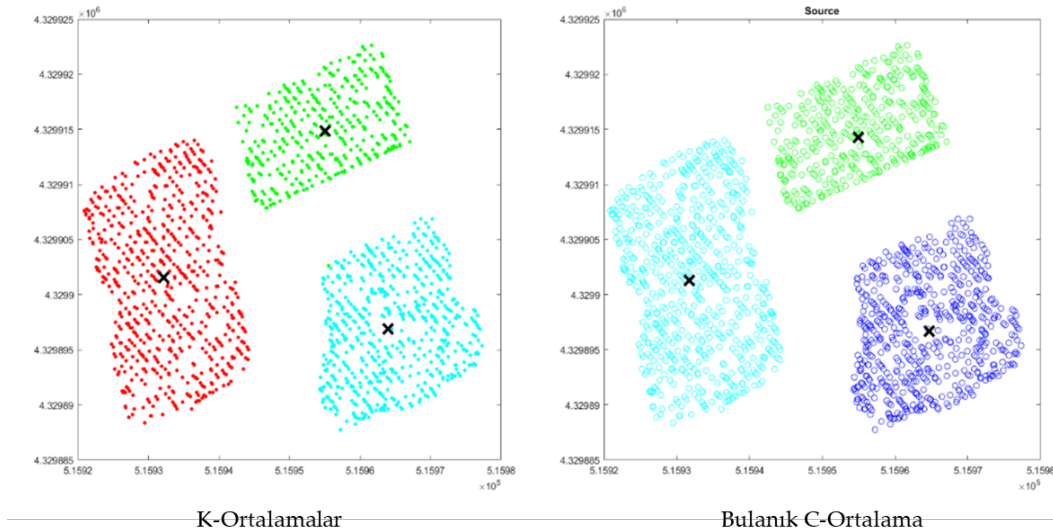
Tablo 2 incelediğinde, kümeleme işleminde binaları temsil eden noktaların geometrik şekilleri de noktaların doğru kümeye atanmasında etkili olduğu görülmüştür.

Veri seti 2’de olduğu gibi birbirine yakın farklı geometrik formdaki noktaların kümelenmesinde K-Ortalamlar ve BCO yöntemleri farklı sonuçlar üretmiştir. Veri seti 1 ve 4’te yan yana sıralanan belirli formdaki noktalar her iki yöntem içinde birebir aynı olarak sınıflanırken; veri seti 3’te binaların yakın olması nedeniyle yine yöntemler arasında farklı kümeleme sonucu üretilmiştir.

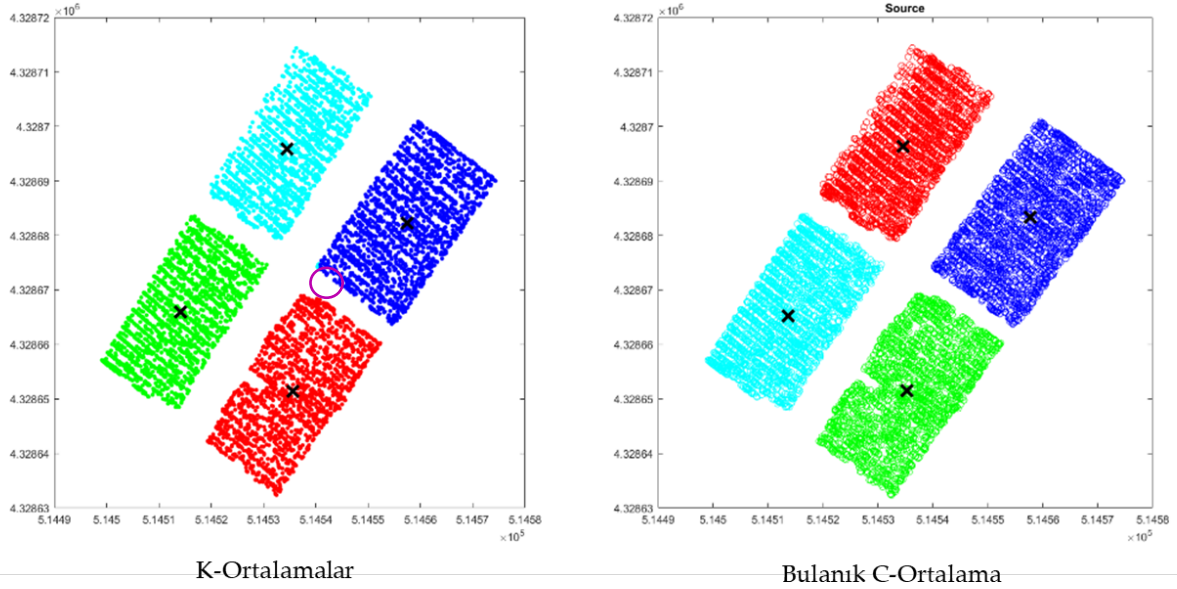
Bu noktada, binaların temsil eden nokta yığınlarının birbirine yakınlık, diziliş ve birlikte temsil ettiği geometrik şekil, algoritmaların küme merkezleri ve buna bağlı olarak noktaların kümelemesinde etkili olduğu görülmüştür.



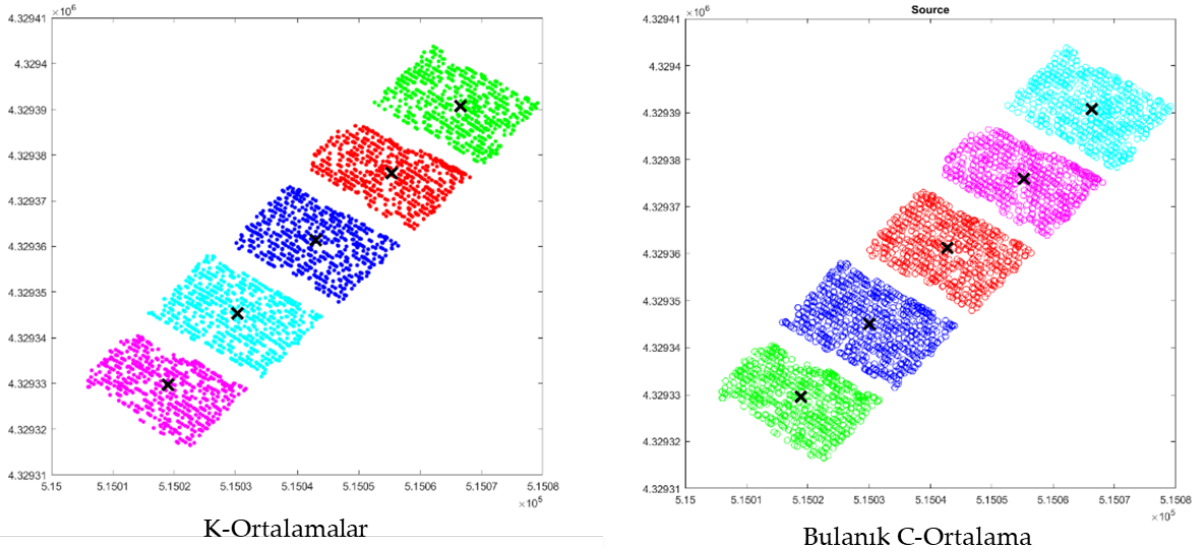
Şekil 3. Veri seti 1’e ait kümeleme sonuçları ('x' işareti küme merkezlerini ifade etmektedir).



Şekil 4. Veri seti 2’e ait kümeleme sonuçları.



Şekil 5. Veri seti 3'e ait kümeleme sonuçları.



Şekil 6. Veri seti 4'e ait kümeleme sonuçları.

Tablo 2. Kümelenen nokta sayısı ve farklar

	Veriseti 1	Referans Nokta ile Kümelenen Nokta Farkları		
		BCO	Δ_{K-Ort}	Δ_{BCO}
	K-Ortalamlar			
1.Bina	15162	15162	0	0
2.Bina	10509	10509	0	0
	Veriseti 2			
	K-Ortalamlar	BCO	Δ_{K-Ort}	Δ_{BCO}
1.Bina	445	444	0	-1
2.Bina	687	688	0	+1
3.Bina	742	742	0	0
	Veriseti 3			
	K-Ortalamlar	BCO	Δ_{K-Ort}	Δ_{BCO}
1.Bina	2595	2595	0	0
2.Bina	2776	2772	+4	0
3.Bina	1993	1993	0	0
4.Bina	2139	2146	-7	0
	Veriseti 4			
	K-Ortalamlar	BCO	Δ_{K-Ort}	Δ_{BCO}
1.Bina	642	642	0	0
2.Bina	646	646	0	0
3.Bina	676	676	0	0
4.Bina	762	762	0	0
5.Bina	651	651	0	0

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Bergama bölgesine ait Lidar verisi üzerinde oluşturulan farklı veri setleri üzerinde bina çıkarımı kümeleme tabanlı K-Ortalamlar ve Bulanık C-Ortalama yöntemleriyle otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, veri seti 1 ve 4'de noktalar her iki yöntemde de birebir aynı olarak kümelendi. Veri seti 2 ve 3 binaya ait verilerse ise; Veri seti 2 için toplamda 2 farklı bina olarak kümelendi; Veri seti 3'de binada bu fark 11'dir. Veri seti 1 ve 3'de benzer kümeleme sonuçları üretmiş olup küme merkezleri farklılık göstermiştir. Sonuç olarak incelendiğinde iki yöntem arasında ciddi bir farklılık görülmemiştir ancak binaları temsil eden nokta verilerinin yakınlığı, dizilişi ve oluşturduğu geometrik form kümeleme yöntemlerinin doğru sonuç üretmesinde etken bir faktör olduğu görülmüştür.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adjiski V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199.
- Akbulut, Z., Özdemir, S., Acar, H., & Karsli, F. (2018). Automatic building extraction from image and LiDAR data with active contour segmentation. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46, 2057-2068.
- Alhawarat, M., & Hegazi, M. (2018). Revisiting k-means and topic modeling, a comparison study to cluster arabic documents. *IEEE Access*, 6, 42740-42749.
- Awrangjeb, M., & Fraser, C. S. (2014). An automatic and threshold-free performance evaluation system for building extraction techniques from airborne LIDAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(10), 4184-4198.
- Ben-Israel, A., & Iyigun, C. (2008). Probabilistic d-clustering. *Journal of Classification*, 25, 5-26.
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & geosciences*, 10(2-3), 191-203.

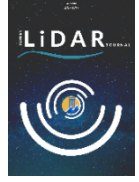
- Chen, D., Zhang, L., Li, J., & Liu, R. (2012). Urban building roof segmentation from airborne lidar point clouds. *International journal of remote sensing*, 33(20), 6497-6515.
- Cheng, L., Zhao, W., Han, P., Zhang, W., Shan, J., Liu, Y., & Li, M. (2013). Building region derivation from LiDAR data using a reversed iterative mathematic morphological algorithm. *Optics Communications*, 286, 244-250.
- Gilani, S. A. N., Awrangjeb, M., & Lu, G. (2016). An automatic building extraction and regularisation technique using lidar point cloud data and orthoimage. *Remote Sensing*, 8(3), 258.
- Ghosh, S., & Dubey, S. K. (2013). Comparative analysis of k-means and fuzzy c-means algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(4).
- Dhanachandra, N., Manglem, K., & Chanu, Y. J. (2015). Image segmentation using K-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. *Procedia Computer Science*, 54, 764-771.
- Du, S., Zhang, Y., Zou, Z., Xu, S., He, X., & Chen, S. (2017). Automatic building extraction from LiDAR data fusion of point and grid-based features. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 130, 294-307.
- Kang, J., Min, L., Luan, Q., Li, X., & Liu, J. (2009). Novel modified fuzzy c-means algorithm with applications. *Digital signal processing*, 19(2), 309-319.
- Kayi, A., Erdoğan, M., & Eker, O. (2015). Optech Ha-500 Ve Riegl Lms-Q1560 ile gerçekleştirilen LiDAR test sonuçları. *Harita dergisi*, 153(2), 42-46.
- Lv, Z., Liu, T., Shi, C., Benediktsson, J. A., & Du, H. (2019). Novel land cover change detection method based on K-means clustering and adaptive majority voting using bitemporal remote sensing images. *Ieee Access*, 7, 34425-34437.
- Meng, X., Wang, L., & Currit, N. (2009). Morphology-based building detection from airborne LIDAR data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(4), 437-442.
- Miliaresis, G., & Kokkas, N. (2007). Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LIDAR DEMs. *Computers & geosciences*, 33(8), 1076-1087.
- Mongus, D., Lukač, N., & Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 145-156.
- Neeraj, K. N., & Maurya, V. (2020). A review on machine learning (feature selection, classification and clustering) approaches of big data mining in different area of research. *Journal of Critical Reviews*, 7(19), 2610-2626.
- Ng, M. K. (2000). A note on constrained k-means algorithms. *Pattern Recognition*, 33(3), 515-519.

- Ozdemir, E., Karsli, F., Kavzoglu, T., Bahadir, M., & Yagmahan, A. (2022). A novel algorithm for regularization of building footprints using raw LiDAR point clouds. *Geocarto International*, 37(25), 7358-7380.
- Panda, S., Sahu, S., Jena, P., & Chattopadhyay, S. (2012). Comparing fuzzy-C means and K-means clustering techniques: a comprehensive study. In *Advances in Computer Science, Engineering & Applications: Proceedings of the Second International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA 2012)*, May 25-27, 2012, New Delhi, India, 1, 451-460.
- Peker, N., & Kubat, C. (2021). Boyut Azaltmanın Bulanık C-Ortalama Kümeleme Teknikleri Üzerindeki Etkisi. *Veri Bilimi*, 4(1), 1-7.
- 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.
- Sevgen, S. C. (2019). Airborne lidar data classification in complex urban area using random forest: a case study of Bergama, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), 45-51.
- Sevgen, S. C., & Karsli, F. (2020). Automatic ground extraction for urban areas from airborne lidar data. *Turkish Journal of Engineering*, 4(3), 113-122.
- Suganya, R., & Shanthi, R. (2012). Fuzzy c-means algorithm-a review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(11), 1.
- Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2008). Extended RANSAC algorithm for automatic detection of building roof planes from LiDAR data. *The photogrammetric journal of Finland*, 21(1), 97-109.
- Verma, V., Kumar, R., & Hsu, S. (2006, Haziarn). 3D building detection and modeling from aerial LIDAR data. In 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06), 2, 2213-2220.
- Yang, B., Xu, W., & Dong, Z. (2013). Automated extraction of building outlines from airborne laser scanning point clouds. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(6), 1399-1403.
- Zeybek, M. (2022). Havasal LiDAR Nokta Bulutlarından Kentsel Yol Ağlarının Çıkarımı, Bergama Test Alanı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 53-59.



© Author(s) 2023.

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



Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği

Atilla Karabacak^{1*}, Murat Yakar²

^{1*} Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 33150, Mersin, Türkiye; (atilakarabacak@mersin.edu.tr)

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (myakar@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
atilakarabacak@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Karabacak, A. & Yakar, M. (2023). Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 5(2), 52-60.

Geliş : 03.07.2023
Revize : 20.11.2023
Kabul : 04.12.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Teknolojideki hızlı değişimle LiDAR teknolojisi haritacılık alanına girmiştir. Mobil LiDAR ile hareket edebilen araçlarla veriler 2000 yıllarında toplanmaya başlandı. Günümüzde Giyilebilir Mobil LiDAR (GML) haritacılık alanında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde Kadastro haritaları fotogrametrik ve yersel yöntemlerle yapılmaktadır. Kadastro haritalarında GML kullanımı hakkında yayınlanan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada kadastro haritalarının yapımında GML teknolojisini kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma Ankara Kentinin Balgat semtinde seçilen yapı adasında yapılmıştır. Çalışma için arazide yürüyüş yolu üzerine 5 yer kontrol noktası (YKN) oluşturularak, totalstation ve GNSS ile koordinat verilmiştir. YKN haricinde arazide GML ile ölçüm yaklaşık 8 dakika sürmüştür. Yapılan çalışmada yapı adasının 3B modeli ve ortofotosu karekök hatası 4 cm oluşturulmuştur. GML ile yapılan harita üzerinde sınırlar duvarlar takip edilerek oluşturulmuştur, GML ile elde edilen harita, kadastrodan elde edilen sayısal kadastro paftasıyla Netcad ortamında karşılaştırılmıştır. Orijinal kadastro paftasıyla GML'den elde edilen ortofoto Netcad ortamında iki tabaka halinde koordinat değerleriyle üst üste gelmiştir. Bulunan sonuç beklentilerinde üzerinde çıkarak ortofoto ve kadastro paftasındaki sınırlar tam çakışmıştır. Bu çalışma kadastro haritalarının üretiminde GML teknolojisinin etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. GML alanında daha fazla uygulama yapılarak çeşitli haritalama ihtiyaçlarının GML ile yapılabilirliği keşfedilebilir.

Anahtar Kelimeler: Kadastro ölçümü, giyilebilir mobil lidar, fotogrametri, lazer tarama, 3B.

Usability of Wearable Mobile LiDAR in Cadastre

*Corresponding Author:
atilakarabacak@mersin.edu.tr

Research Article

Citation: Karabacak, A. & Yakar, M. (2023). Usability of Wearable Mobile LiDAR in Cadastre. *Turkish Journal of LiDAR*, 5(2), 52-60 (in Turkish).

Received : 03.07.2023
Revised : 20.11.2023
Accepted : 04.12.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

The rapid evolution of technology has ushered LiDAR technology into the field of mapping. Data collection with mobile LiDAR vehicles began in the early 2000s. Today, Wearable Mobile LiDAR (WML) has started to be utilized in the field of mapping. Cadastral maps are currently produced using photogrammetric and terrestrial methods. There are scarce published studies on the usage of WML in cadastral maps. This study investigates the applicability of GML technology in the production of cadastral maps. The research was conducted in the Balgat district of Ankara City, focusing on a selected building block. For the study, five ground control points (GCP) were established along a walking path in the field, and coordinates were determined using total station and GNSS, excluding GCP. The measurement with WML in the field took approximately 8 minutes. In the study, a 3D model of the building block and its orthophoto were created with a square root error of 4 cm. On the map made with WML, the boundaries were delineated by following the walls. The map obtained with WML was compared with the digital cadastral map obtained from the cadastre in the Netcad environment. The original cadastral sheet and the orthophoto obtained from WML were overlaid with the coordinate values in two layers in the Netcad environment. The results exceeded expectations, and the borders on the orthophoto and cadastral sheets coincided precisely. This study suggests that WML technology can be effectively employed in the production of cadastral maps. Further research could explore additional applications and advancements of WML technology in various mapping scenarios.

Keywords: Cadastral survey, wearable mobile Lidar, photogrammetry, laser scanning, 3D.

1. Giriş

GML teknolojisi ile hızlı veri toplanmaktadır, ancak teknoloji yeni olduğundan kullanımı kısıtlıdır ve hangi işlerde nasıl sonuçlar verdiği araştırılmaktadır. Yaptığımız çalışmalarda su dışında görünen her şeyi ölçtüğü görüldü (Karabacak & Yakar, 2022; Karabacak & Yakar, 2023, abcd; Yılmaz vd., 2015; Kabadayı, 2022; Kabadayı & Erdoğan, 2022a; Kabadayı & Erdoğan, 2022b; Alptekin & Yakar, 2021; Yılmaz & Uysal, 2016; Kanun vd., 2021; Karataş vd., 2022; Kuşak vd., 2021). GML teknolojisi bir insanın gözünden kaçan detayları kaçırmaz ancak insan tarafından kullanıldığından tecrübeli bir operatör tarafından kullanılması gerekir. Günümüzde kadastro çalışmaları yersel ve fotogrametrik yöntemlerle yapılmaktadır. Harita yapımında GML kullanımı hızlı sonuç verdiği için, kadastro çalışmalarında kullanılabilirliği bu çalışmayla araştırılacaktır. Bu çalışma Ankara kentinin Balgat semtinde bulunan yapı adasının GML ile ortofoto, 3B model ve kadastro paftasıyla karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Gexcel Heron Giyilebilir 3B Mobil Haritalama Sistemi

2015 yılında geliştirilen, giyilebilir veya el tipi kullanılabilir bir mobil lazer tarayıcıdır. SLAM Algoritması kullanır. Her türlü yürünebilen alanlarda kullanılabilir. İç ve dış mekân, yer altı madenleri, jeo-uzamsal uygulamalar, yapılar, tüneller, kültürel miras alanları, adli olaylar, ormanlar, kentsel alanlar vb. kullanılabilir. Hem geometri hem de renk bilgilerini birlikte toplamak için 3B nokta bulutları ve 5K panoramik görüntüler alabilir. Bu çalışmada test edilen taşınabilir Mobil lazer tarayıcı Gexcel tarafından üretilen Heron giyilebilir Lidar cihazıdır. 903 nm dalga boyunda kızılötesi lazer ışınları yayan 16 kanallı bir Velodyne Puck LITE lazer tarayıcı 100 m menzile içinde ve 360° yatay görüş ve 30° (-15 +15) düşey görüş açısıyla saniyede 300.000 nokta elde edilmesini sağlar. Lazer tarayıcı sensörü, verileri sistem yörünge tahmininde kullanılan bir XSens MTI, IMU ile birleştirilir. Çalışma yapılırken, LİDAR kafa teleskopik bir karbon fiber jalona monte edilir, bir bataryaya ve bir kontrol ünitesine bağlanır. Aşağıda Şekil 1 ve 2’de verilen Gexcel Heron giyilebilir 3B mobil haritalama sisteminin parçaları görülmektedir. Lazer sensörünün olduğu tarayıcı kafa bir jalon üzerine vidalanarak kullanılır. Tarayıcı kafadan çıkan kablo bağlantısı güç için bataryaya, veri alışverişi ve program için tablete bağlanır. Tablet içerisindeki Heron live programıyla cihaz kontrol edilir ve yönetilir. Tablet ekranından yapılan nokta bulutu anlık durumu gözükür ve mobil LİDAR operatörü ekranda olası bir sorun olduğunda iş durdurarak gerekirse başa dönerek işi tekrarlar.

LİDAR’ı tutan kişi jalonu kemere takılı cebe takarak taşıyabileceği gibi el ile dik bir şekilde tutarak da kullanılabilir.



Şekil 1. Heron GML.

Üreticinin verdiği özelliklere göre, sistem 3 cm'lik bir yerel doğruluk ve nihai 5 cm bir küresel doğruluk sağlar, döngü ve kapanışların varlığından ayrıca taranan ortamın özelliklerinden SLAM algoritması etkilenebilir ve doğruluk 20-50 cm'ye düşebilir (Paksoytekni, 2022; Maset vd., 2021; Yılmaz, 2009; Erdoğan vd., 2021; Kabadayı vd., 2020; Ulvi vd., 2014; Ünal vd., 2004; Yakar & Doğan, 2017; Yılmaz & Yakar, 2006a; Yılmaz & Uysal, 2017).

Çalışma İçin Uygun Hava Koşulları

- Doğrudan güneş ışığı.
- Rüzgâr.
- Karanlık yerler
- -10° C' den +45° C'ye kadar çalışma sıcaklığı.

Çalışma İçin Uygun Olmayan Hava Koşulları

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

Tarama Esnasında Dikkat Edilecek Hususlar

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

GML yürüyen bir insanın taşıyarak dolaştığı yerleri 3B modellemek için tasarlanmıştır. Yeni modelleri GNSS bünyesinde barındırmaktadır (Yakar vd., 2009; Korumaz vd., 2012; Yakar vd., 2016; Yakar vd., 2018).

Sistem gözle görülen ve yerinde sabit her şeyi ölçebilen teknolojik bir cihazdır. Günümüzde harita yapımı, yapı modelleme, ormancılık, kültürel mirasın belgelenmesi, yol, tünel, kadastro ve halihazır harita vb gözle gördüğümüz su hariç yerinde sabit nesnelere ölçmek için kullanılır (Yılmaz & Yakar, 2006b; Yılmaz & Yakar, 2008; Filippo vd., 2018; Masiero vd., 2018; Rodríguez-Martín vd., 2022, Carlos Coba vd., 2018; Xu vd., 2020; Hyyppä vd., 2020; Kabadayı, 2023; Kabadayı & Erdoğan, 2023; Ko vd., 2021; Zhou, 2019; Geoslam, 2021; Otero vd., 2020; Maset vd., 2021; Maset vd., 2022; Vassena & Clerici, 2018; Sánchez-Aparicio vd., 2021; Di Stefano vd., 2021; Chio & Hou, 2021; Velas vd., 2019; Ulvi vd., 2021; Erdoğan vd., 2022a; Erdoğan vd., 2022b;; Karataş vd., 2022a,b,c; Karataş vd., 2023).

3. GML ile Yapı Adası 3B Modellemesi ve Haritası

Ankara Balgat'ta bulunan yapı adasını ölçmek için 5 poligon tesis edildi. Atılan poligonlara GNSS ve totalstaion kullanarak ITRF koordinat sisteminde koordinat verildi. Aşağıda verilen Şekil 2'te GML ile ölçüme başlama anı gözükmektedir.

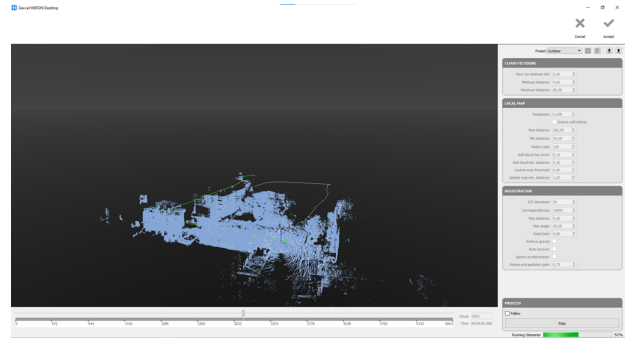


Şekil 2. Arazi çalışmasından bir kare.

3.1 Yapı Adasının GML ile Ölçümü

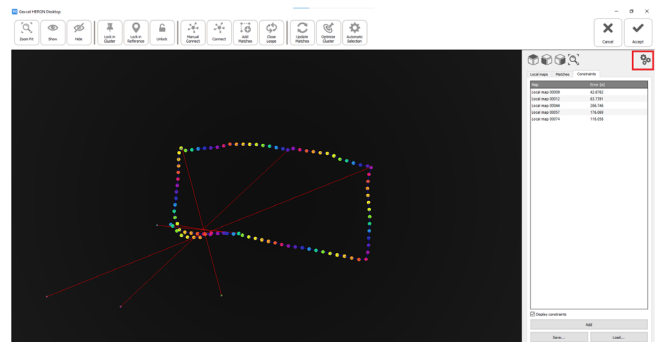
Ölçüm için arazi gezildi ve yürüme yolu üzerinde poligon noktaları tesis edildi. Kapalı güzergâh olarak 5 YKN kullanılarak yoldan yapı adasını turlayan güzergâh planlandı. Engellere göre plan yapıldı. Güzergâh yaklaşık 8 dakikada tamamlandı.

Güzergâhın Odometer edilmesi Şekil 3'te gözükmektedir.



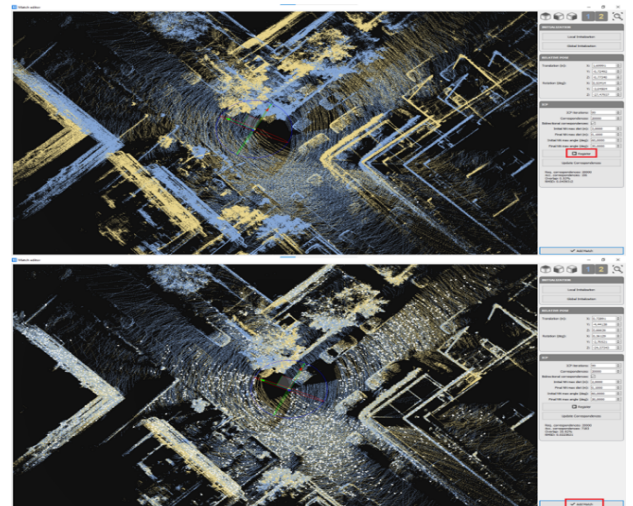
Şekil 3. Güzergâhın Odometer edilmesi.

Otomatik oluşturulmuş ve YKN noktaları dâhil edilmiş bağlar Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. YKN noktaları dahil edilmiş bağlar.

Yeni bağlar çekildi ve eklenen bağlar çakıştırıldı çakışan yerler Şekil 5'te beyaz renkte görülmektedir.



Şekil 5. Yeni bağ çakıştırılır.

Bağlardaki en büyük ortalama karekök hatası (RMSD), 4 cm çıkmıştır, Şekil 6'da RMSD değerleri görülmektedir.

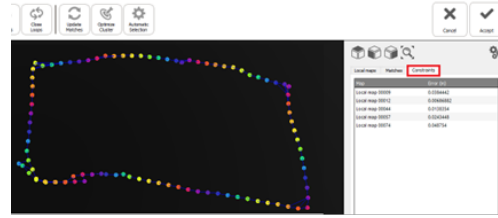
Dengeleme sonucunda YKN noktalarına isabet eden hataların en büyüğü 5 cm olarak Şekil 7'de gözlenmektedir. Reconstructor'da farklı açılardan yapı adası 3B modeli Şekil 8'de incelenebilir üzerinden ölçü alınabilir.

Reconstructor'da yapının ortofotosu Şekil 9'da gözüktüğü gibi üretildi. Reconstructor'da, YKN noktalarının GML'in verdiği mevzi ve GNSS ve totalstation ile verilen ITRF koordinatları Şekil 10'da görülmektedir. Reconstructor'da, YKN isabet eden hatalar ve koordinat eksenlerine göre sapmaları Şekil 11'de görüntülenebilir, burada koordinat dönüşümünde hatası büyük olan YKN seçilmedi.

Reconstructor'da, YKN isabet eden hatalar ve koordinat eksenlerine göre sapmaları Şekil 11'de görüntülenebilir, burada koordinat dönüşümünde hatası büyük olan YKN seçilmedi.

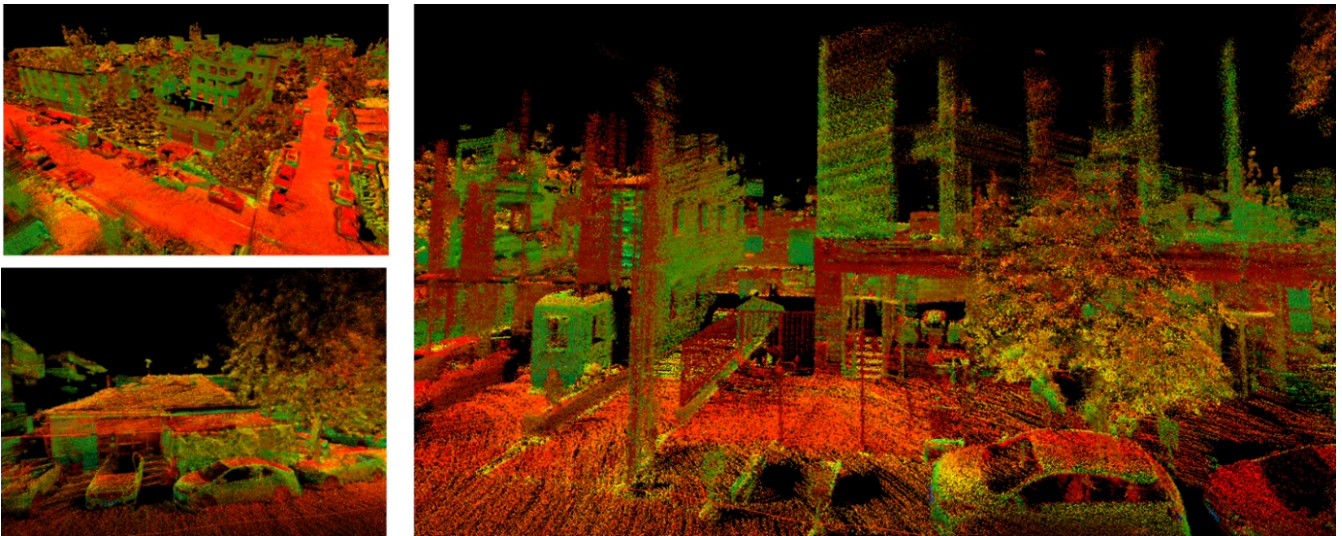
Map 1 (ID)	Map 2 (ID)	Overlap (%)	RMSD (cm)	Error (m+rad)
Local map 00003	Local map 00089	38.8600	2.2464	0.0392
Local map 00034	Local map 00030	9.1550	2.8669	0.0374
Local map 00003	Local map 00004	58.2400	2.0468	0.0323
Local map 00009	Local map 00010	50.0200	2.4795	0.0201
Local map 00053	Local map 00054	55.6300	3.0219	0.0189
Local map 00043	Local map 00046	26.6150	2.4490	0.0177

Şekil 6. Bağlardaki hata ve RMSD.

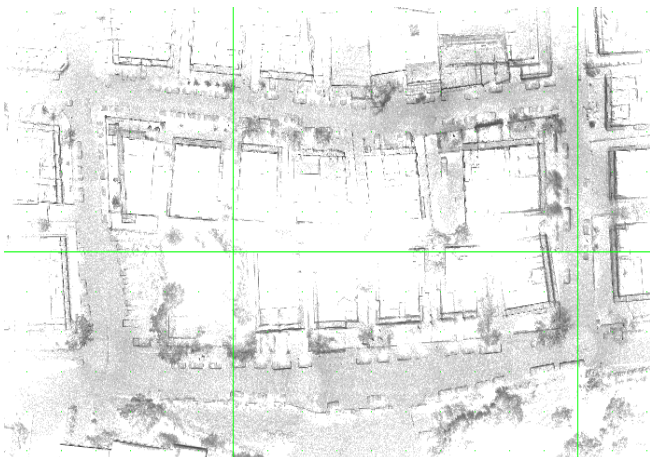


Map	Error (m)
Local map 00009	0.0384442
Local map 00012	0.00686882
Local map 00044	0.0138354
Local map 00057	0.0243448
Local map 00074	0.048754

Şekil 7. Dengeleme sonucu YKN isabet eden hatalar.



Şekil 8. Reconstructor'da farklı açılardan yapı adası 3B modeli.



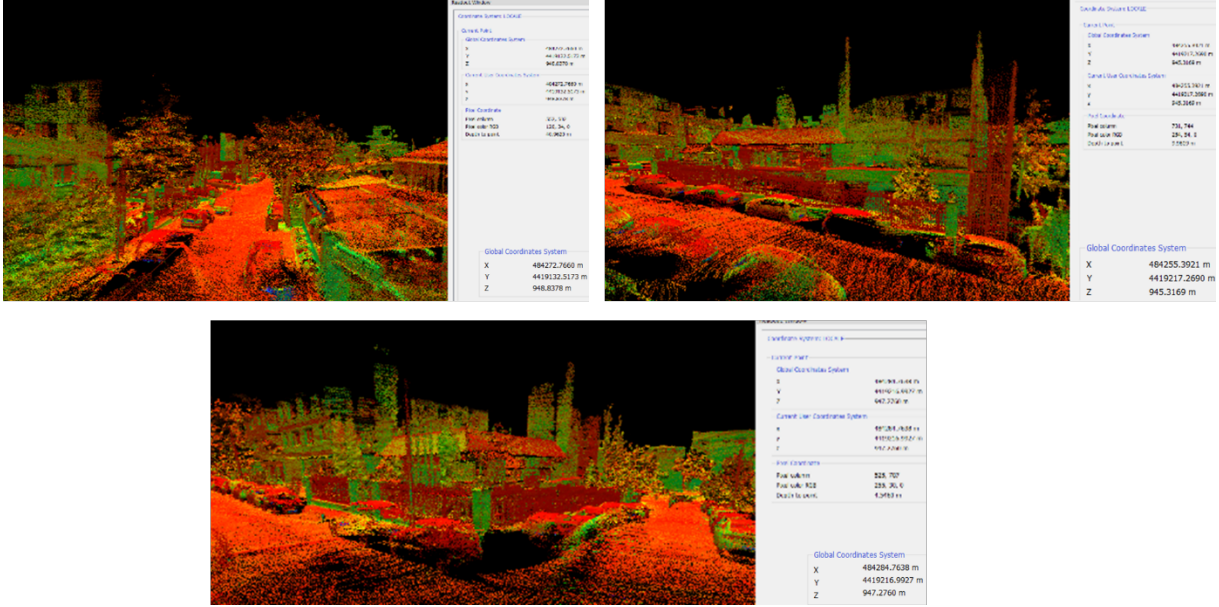
Şekil 9. Yapı adasının ortofotosu.

Point Cloud		Point clouds reference points			External reference points					
1	2	Type	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Uygulama4	Target	Reference Point...	0.0636	0.0236	0.0139	1 P.1	484275.3220	4419112.5550	948.7480
2	Uygulama4	Target	Reference Point...	-0.7406	10.6213	-0.2317	2 P.2A	484274.5840	4419123.1800	948.5240
3	Uygulama4	Target	Reference Point...	-57.3265	99.7134	-5.7053	3 GCP6	484218.0160	4419212.2630	943.0410
4	Uygulama4	Target	Reference Point...	-64.0221	40.2777	-3.3384	4 GCP8	484211.2710	4419152.8130	945.4100
5	Uygulama4	Target	Reference Point...	-54.0174	-38.9640	0.8465	5 GCP10	484221.3670	4419073.6410	948.5900

Şekil 10. YKN mevzi ve ITRF koordinatları.

Registration Report		Mean registration error: [0,0439 m]				Error threshold [m] [0,010]			
Match [Moving point: X, Y, Z] - Reference point: X, Y, Z]	Error [m]	X Error [m]	Y Error [m]	Z Error [m]					
1 [X] Reference Point 005: (-57.3265, 99.7134, -5.7053) - GCP6: (484218.0160, 4419212.2630, ...	0.0240	0.0241	0.0059	0.0011					
2 [X] Reference Point 005: (-54.0174, -38.9640, 0.8465) - GCP10: (484221.3670, 4419073.6410, ...	0.0794	0.0621	0.0496	0.0013					
3 [X] Reference Point 002: (-0.7406, 10.6213, -0.2317) - P.2A: (484274.5840, 4419123.1800, ...	0.0126	0.0037	0.0018	0.0119					
4 [X] Reference Point 004: (-64.0221, 40.2777, -3.3384) - GCP8: (484211.2710, 4419152.8130, ...	0.0336	0.0270	0.0200	0.0019					
5 [X] Reference Point 001: (0.0636, 0.0236, 0.0139) - P.1: (484275.3220, 4419112.5550, ...	0.0688	0.0629	0.0255	0.0114					

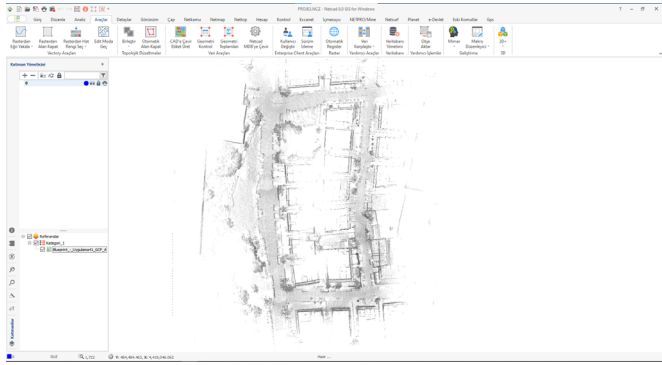
Şekil 11. YKN isabet eden hatalar ve koordinat eksenlerine göre sapmaları.



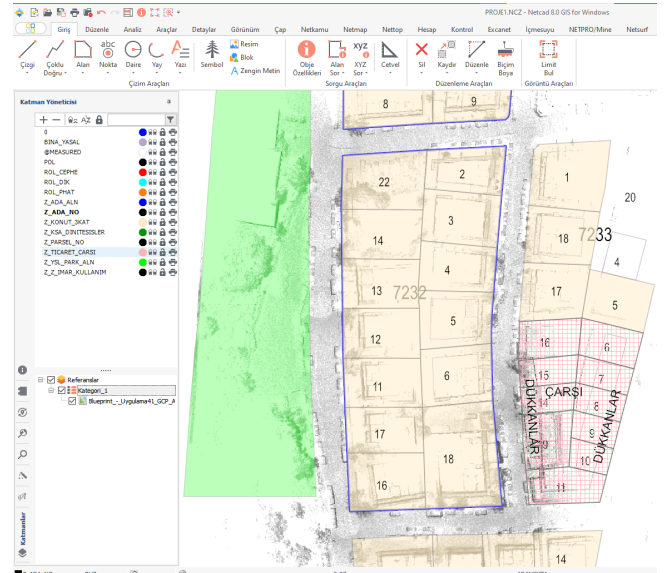
Şekil 12. Yapı adasının ITRF koordinatlı 3B modeli.

Yapı adasının ortofotosu Nectad ortamına Şekil 13’de görüldüğü gibi aktarıldı.

Pafta ve ortofoto aynı projeye Şekil 15’de görüldüğü gibi eklendi.



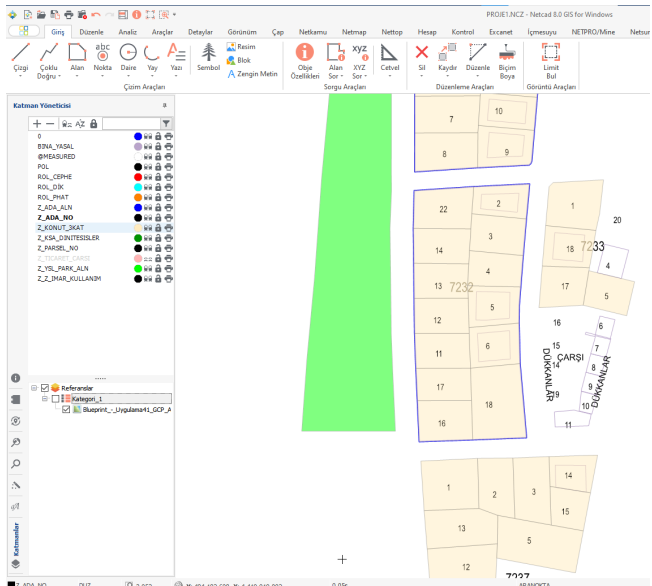
Şekil 13. Yapı adasının ortofotosunun Nectad ortamına aktarılması.



Şekil 15. Nectad’de pafta ve ortofoto birlikte görüntülendi.

Yapı adasının kadastro paftası Nectad ortamına Şekil 14 görüldüğü gibi aktarıldı.

2 nolu kadastro parselinin kadastro sınırları GML ile üretilen ortofota ile Şekil 16’da görüldüğü gibi tam çakışmaktadır.



Şekil 14. Nectad’de yapı adasının kadastro paftası.



Şekil 16. Parsel 2’nin pafta ve ortofotadaki sınırı.

3 nolu kadastro parseli Şekil 17’de gözüktüğü gibi tam çakışmaktadır.



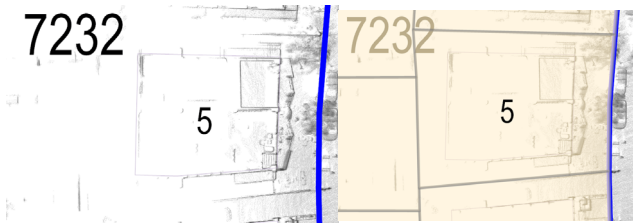
Şekil 17. Parsel 3'ün pafta ve ortofotadaki sınırı.

4 nolu kadastro parseli Şekil 18’de gözüktüğü gibi tam çakışmaktadır.



Şekil 18. Parsel 4'ün pafta ve ortofotadaki sınırı.

5 nolu kadastro parseli Şekil 19’da gözüktüğü gibi tam çakışmaktadır.



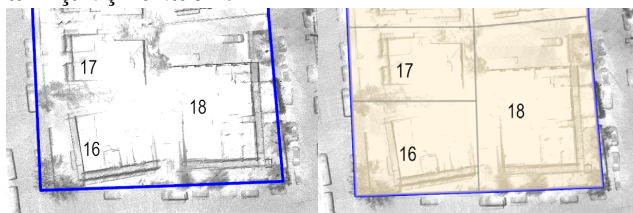
Şekil 19. Parsel 5'in pafta ve ortofotadaki sınırı.

6 nolu kadastro parseli Şekil 20’de gözüktüğü gibi tam çakışmaktadır.



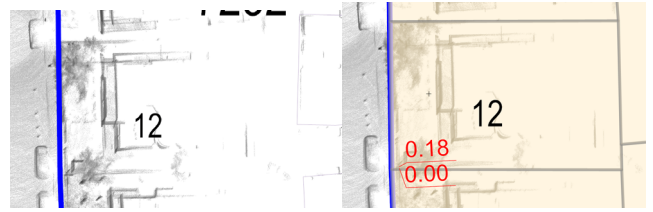
Şekil 20. Parsel 6'nın pafta ve ortofotadaki sınırı.

16-17 ve 18 nolu parseller Şekil 21’de gözüktüğü gibi tam çakışmaktadır.



Şekil 21. Parsel 16-17 ve 18'in pafta ve ortofotadaki sınırı.

12 nolu parselin güney cephesi Şekil 22’de gözüktüğü gibi 18 cm fark etmektedir, diğer cepheler tam çakışmaktadır. Diğer parseller tam çakıştığından, 12 nolu parselin güney duvarı muhtemelen kuzeye 18 cm kaymıştır.



Şekil 22. Parsel 12'nin pafta ve ortofotadaki sınırı.

4. Sonuçlar

GML ile yapılan arazi çalışması 8 dakika sürmüştür. Arazide YKN tesis edilmesi hataların büyümesini önlemiştir. Karekök hatası 4 cm çıkmıştır. Kadastro paftasıyla GML'den elde edilen ortofoto Netcad ortamına atıldığında pafta ile ortofoto üzerindeki tespit edilen komşu sınırlar tam çakışmıştır. Diğer parsellerde bir hata çıkmaması 12 ve 11 numaralı parsel sınırlarında 18 cm'lik hatanın sınırdaki duvarda bir kayma nedeniyle olabileceğini düşündürmüştür. Yapılan çalışmada kadastro sınırlarının GML teknolojisi ile ölçülebildiği ortaya konmuştur. Sonuç olarak GML teknolojisi ile sınırları arazide görünen alanlarda kadastro yenileme çalışmaları GML teknolojisiyle hızlı bir şekilde yapılabilir olduğunu göstermiştir.

Yazarların Katkısı

Atilla Karabacak: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Yazım;

Murat Yakar: Kontrol, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.
- Cabo, C., Del Pozo, S., Rodríguez-González, P., Ordóñez, C., & Gonzalez-Aguilera, D. (2018). Comparing terrestrial laser scanning (TLS) and wearable laser scanning (WLS) for individual tree modeling at plot level. *Remote Sensing*, 10(4), 540.

- Carla LAUTER'in 13 Mayıs 2020 tarihli yazısı (Yeni giyilebilir VLX tarayıcıları ile NavVis, mobil haritalamayı ana akım haline getirmeyi hedefliyor) www.geoweeknews.com. (Erişim Tarihi: 01.10.2021)
- Chio, S. H., & Hou, K. W. (2021). Application of a Hand-Held LiDAR Scanner for the Urban Cadastral Detail Survey in Digitized Cadastral Area of Taiwan Urban City. *Remote Sensing*, 13(24), 4981.
- Di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L. J., Barba, S., Martín-Jiménez, J. A., Mora, R., & González Aguilera, D. (2018). Use of a wearable mobile laser system in seamless indoor 3D mapping of a complex historical site. *Remote Sensing*, 10(12), 1897.
- Di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L. J., Barba, S., Martín-Jiménez, J. A., Mora, R., & González Aguilera, D. (2018). Use of a wearable mobile laser system in seamless indoor 3D mapping of a complex historical site. *Remote Sensing*, 10(12), 1897.
- Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021). *Mobile 3D scan LiDAR: A literature review. Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387-2429.
- Di Stefano, F., Torresani, A., Farella, E. M., Pierdicca, R., Menna, F., & Remondino, F. (2021). 3D surveying of underground built heritage: Opportunities and challenges of mobile technologies. *Sustainability*, 13(23), 13289.
- Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022a). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35-40.
- Erdoğan, A., Görken, M., Kabadayı, A., & Temizel, S. (2022b). Evaluation of green areas with remote sensing and GIS: A case study of Yozgat city center. *Advanced Remote Sensing*, 2(2), 58-65.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- Geoslam firmasının ana sayfasından 14 Ekim 2021 tarihinde <https://geoslam.com/>, adresinden erişildi.
- GEXCEL Şirketinin sayfasından 2 Ekim 2021 tarihinde <https://gexcel.it/en/solutions/heron-portable-3d-mapping-system> adresinden erişildi.
- Hyypä, E., Kukko, A., Kaijaluoto, R., White, J. C., Wulder, M. A., Pyörälä, J., ... & Hyypä, J. (2020). Accurate derivation of stem curve and volume using backpack mobile laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 161, 246-262.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Rölöve ve Restütasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022a). Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62-67.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022b). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Kadastroda Binaların Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 66-72.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- Kabadayı, A., Yunus, K., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- Karabacak A., (2022) Mobil Haritalama Yöntemlerinin Farklı Yerlerde Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*. (c)
- Kanun, E., Metin, A., & Yakar, M. (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 58-64.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2022) Giyilebilir Mobil LİDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 37-52.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Akyar Cliffs with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 86-89.(a)
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D modeling of Mersin Sarisih Caravanserai with wearable mobile LIDAR. *Advanced Engineering Days (AED)*, 6, 90-93. (b)
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023). 3D Modeling of Mufti Abdullah Siddik Mosque using Wearable Mobile LiDAR. *Advanced LiDAR*, 3(1), 01-09. (c)
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022a). Detection of materials and material deterioration in historical buildings by spectroscopic and petrographic methods: The example of Mardin Tamir Evi. *Engineering Applications*, 1(2), 170-187.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022b). Investigation of Molla Hari (Halil) Süleyman Paşa Mosque's material deteriorations. *Advanced Engineering Days (AED)*, 4, 55-57.

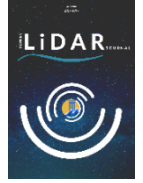
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022c). Material deteriorations occurring on the facades of the Mor Sergios Bakhos Church. *Advanced Engineering Days (AED)*, 4, 48-51.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2023). Material analysis for restoration application: a case study of the world's first university Mor Yakup Church in Nusaybin, Mardin. *Heritage Science*, 11(1), 1-17.
- Ko, C., Lee, S., Yim, J., Kim, D., & Kang, J. (2021). Comparison of Forest Inventory Methods at Plot-Level between a Backpack Personal Laser Scanning (BPLS) and Conventional Equipment in Jeju Island, South Korea. *Forests*, 12(3), 308.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2012). Digital techniques in cultural heritage documentation. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*.
- Kuşak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Maset, E., Cucchiario, S., Cazorzi, F., Crosilla, F., Fusiello, A., & Beinat, A. (2021). Investigating the Performance of a Handheld Mobile Mapping System in Different Outdoor Scenarios. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, B1-2021.
- Maset, E., Scalera, L., Beinat, A., Visintini, D., & Gasparetto, A. (2022). Performance Investigation and Repeatability Assessment of a Mobile Robotic System for 3D Mapping. *Robotics*, 11(3), 54.
- Masiero, A., Fissore, F., Guarnieri, A., Pirotti, F., Visintini, D., & Vettore, A. (2018). Performance evaluation of two indoor mapping systems: Low-cost UWB-aided photogrammetry and backpack laser scanning. *Applied Sciences*, 8(3), 416.
- NAVVIS şirketi sayfasından 1 Ekim 2021 tarihinde www.navvis-com adresinden erişildi.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I., & Arias, P. (2020). Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction*, 120, 103399.
- Rodríguez-Martín, M., Sánchez-Aparicio, L. J., Maté-González, M. Á., Muñoz-Nieto, Á. L., & Gonzalez-Aguilera, D. (2022). Comprehensive Generation of Historical Construction CAD Models from Data Provided by a Wearable Mobile Mapping System: A Case Study of the Church of Adanero (Ávila, Spain). *Sensors*, 22(8), 2922.
- Sánchez-Aparicio, L. J., Mora, R., Conde, B., Maté-González, M. Á., Sánchez-Aparicio, M., & González-Aguilera, D. (2021). Integration of a wearable mobile mapping solution and advance numerical simulations for the structural analysis of historical constructions: A case of study in San Pedro Church (Palencia, Spain). *Remote Sensing*, 13(7), 1252.
- Thomson C., (2020), (What is SLAM?) 2 Ekim 2021 tarihinde <https://info.vercator.com/blog/what-is-slam> adresinden erişildi.
- Thomson C., (2021), 3 types of terrestrial laser scanners 2. <https://info.vercator.com/blog/3-types-of-terrestrial-laser-scanners> adresinden erişildi.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö. & Alptekin, A. (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure
- Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS*, 1103, 1108.
- Vassena, G., & Clerici, A. (2018). Open pit mine 3D mapping by tls and digital photogrammetry: 3D model update thanks to a slam based approach. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 1145-1148.
- Velas, M., Spanel, M., Sleziak, T., Habrovec, J., & Herout, A. (2019). Indoor and outdoor backpack mapping with calibrated pair of velodyne LiDARs. *Sensors*, 19(18), 3944.
- Xu, S., Sun, X., Yun, J., & Wang, H. (2020). A new clustering-based framework to the stem estimation and growth fitting of street trees from mobile laser scanning data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3240-3250.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara*.
- Yakar, M., & Karabacak, A., (2023). Giyilebilir Mobil Lidar ve Uygulamaları, Isbn: 978-625-8101-40-9, *Atlas Akademi*, Baskı Sayısı: 1, 196 Sayfa, Konya, Türkiye (d).
- Yakar, M., & Kocaman, E. (2018). Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-boyutlu modelleme çalışması ve animasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 133-138.
- Yakar, M., Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). The Use of Laser Scanner in Caves, Encountered Problems and Solution Suggestion. *Universal Journal of Geoscience*, 4(4), 81-88.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoglu, O. (2009). Comparative Evaluation of Excavation Volume by Terrestrial Laser Scanner and Total Topographic Station Based Methods. *Lasers in Engineering*, 19(5), 331.

- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yılmaz, I. (2009). A research on the accuracy of landform volumes determined using different interpolation methods. *Scientific Research and Essay*, 4(11), 1248-1259.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for Li DAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.
- Zhou, S., Kang, F., Li, W., Kan, J., Zheng, Y., & He, G. (2019). Extracting diameter at breast height with a handheld mobile LiDAR system in an outdoor environment. *Sensors*, 19(14), 3212.



© Author(s) 2023.

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



Küçük Objelerin Modellenmesinde El Tipi Lazer Tarayıcı Kullanılması

Zekeriya Kaçarlar^{1*}, Ali Ulvi¹

^{1*} Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, 33310, Mersin, Türkiye;
(zekeriyakarlar@gmail.com; aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
zekeriyakarlar@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kaçarlar, Z. & Ulvi, A. (2023). Küçük Objelerin Modellenmesinde El Tipi Lazer Tarayıcı Kullanılması. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 5(2), 61-67.

Geliş : 30.10.2023
Revize : 06.12.2023
Kabul : 11.12.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Küçük objelerin modellenmesi kültürel miras açısından önemli bir yer almaktadır. 3B harita üretimi için gerekli veriler ilk zamanlarda total station ve şerit metrelerle toplanıyordu. Uygulama alanı olarak kısıtlıydı. Teknolojik gelişmelerle beraber günümüzde 3B ölçüm teknolojileri, 3B harita üretimi için gerekli verilerin toplanmasını otomatik hale getirmiştir. Bu tekniklerden son dönemde en çok kullanılanlarından biride yersel lazer tarama tekniğidir. 3B modelleme de lazer tarayıcılar, tarama ortamına bağlı olarak üç kategoriye ayrılabilir. Bunlar havadan lazer tarama, mobil lazer tarama ve yersel lazer taramadır. Kültürel mirasın içerisinde yer alan ve küçük boyuttaki eserlerin modellenmesinde son dönemde kullanılan yöntemlerden biride mobil lazer taramanın içerisinde bulunan el tipi lazer tarama yöntemidir. Bu çalışmada küçük boyuttaki ev biblosu ve vazo objesinin lazer tarama yöntemiyle modellenmesi ve oluşan model üzerinden ölçü alınması anlatılmaktadır. Elde edilen modeller obje yüzeylerindeki renk yoğunlukları, operatörden kaynaklı hatalar ve tarayıcının kısıtlamalarında dolayı nokta bulutu yoğunluğu olarak yeteri yoğunlukta sonuç vermemiştir. Ölçümler elektronik kumpasla ölçülmüş ve kontrol edilmiştir. Üzerinden alınan ölçüler net olarak seçilemediği için ölçüm değerleri hassas çalışmalar için uygun görülmemektedir. Bu çalışmada küçük boyuttaki iki obje el tipi lazer tarama tekniğiyle modellenmiş ve model üzerinden uzunluklar ölçülmüştür. Yapılan ölçümün doğruluğu elektronik kumpasla yapılmıştır. Sistemin yoğun nokta bulutu oluşturma da yetersiz kaldığı, ayrıntı ve karmaşık yüzeylerde ayırt etme becerisinin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küçük obje, el tipi lazer tarayıcı, 3B modelleme, elektronik kumpas.

Using a Handheld Laser Scanner in Modeling Small Objects

*Corresponding Author:
zekeriyakarlar@gmail.com

Research Article

Citation: Kaçarlar, Z. & Ulvi, A. (2023). Using a Handheld Laser Scanner in Modeling Small Objects. *Turkish Journal of LiDAR*, 5(2), 61-67 (in Turkish).

Received : 30.10.2023
Revised : 06.12.2023
Accepted : 11.12.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Modeling small objects has an important place in terms of cultural heritage. In the early days, the data required for 3D map production was gathering with total stations and tape measures. It was limited in its application area. With technological developments, today's 3D measurement technologies have automated the collection of data required for 3D map production. One of the most used of these techniques recently is the terrestrial laser scanning technique. Laser scanners in 3D modeling can be divided into three categories depending on the scanning environment. These are airborne laser scanning, mobile laser scanning and terrestrial laser scanning. One of the methods recently used in modeling small-sized artifacts in the cultural heritage is the hand-held laser scanning method included in the mobile laser scanning. In this study, modeling of small-sized household figurines and vase objects with laser scanning method and taking measurements from the resulting model are explained. The resulting models did not yield sufficient point cloud density due to the color intensities on the object surfaces, operator errors and limitations of the scanner. Measurements were measured and checked with an electronic caliper. Since the measurements taken on it cannot be clearly distinguished, the measurement values are not considered suitable for precise studies. In this study, two small-sized objects were modeled with a hand-held laser scanning technique and the lengths were measured on the model. The accuracy of the measurement was made with an electronic caliper. It has been concluded that the system is insufficient in creating dense point clouds and has insufficient ability to distinguish details and complex surfaces.

Keywords: Small object, handheld laser scanner, 3D modeling, electronic caliper.

1. Giriş

3B (üç boyutlu) harita üretimi için gerekli veriler geçmişte yapılan çalışmalarda total station ve şerit metrelerle toplanıyordu. Uygulama alanı olarak kısıtlıydı. Teknolojik gelişmelerle beraber günümüzde 3B ölçüm teknolojileri, 3B harita üretimi için gerekli verilerin toplanmasını otomatik hale getirmiştir (Liu vd., 2004). Bu tekniklerden son dönemde en çok kullanılanlarından biri de yersel lazer tarama tekniğidir. Yersel lazer tarama tekniği, son dönemlerde jeodezik araştırmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniği kullanan tarayıcılar, hızlı gelişen teknolojik gelişmelerle beraber piyasaya girmektedir (Yılmaz & Yakar, 2006b; Yılmaz & Yakar, 2008; Pejić vd., 2014; Yılmaz & Uysal, 2016; Erdoğan vd., 2021; Kabadayı, 2023). Uygulama alanı olarak da kültürel mirasın 3B modellenmesi, arkeolojik çalışmalar, afet risk alanlarının korunması için dijital belgeleme, tıp, 3B dijital kopya vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yersel lazer tarama tekniğiyle oluşan 3B veriler nokta bulutu ve ağ modelleri şeklindedir. Nokta bulutları doğrudan veri kaynağı olması, verimli ve uygun maliyetli olması nedeniyle en çok kullanılan 3B veri biçimidir (Yılmaz vd., 2015; Ma & Liu 2018; Xu & Stilla, 2021). 3B veri elde edilmesinde kullanılan tarayıcılar 3B lazer tarayıcılarıdır. Bu tarayıcılar, inşa edilmiş ve hazırlanmış ortamlar için etkili ölçüm yöntemlerine olanak sağlamaktadır (Arayıcı, 2007; Yılmaz, 2009; Kanun vd., 2021; Yakar & Doğan, 2017; Yılmaz & Yakar, 2006a; Yılmaz & Uysal, 2017; Kabadayı vd., 2020; Erdoğan vd., 2022a).

3B modelleme de lazer tarayıcılar, tarama ortamına bağlı olarak üç kategoriye ayrılabilir. Bunlar havadan lazer tarama, mobil lazer tarama ve yersel lazer taramadır (Pärn & Edwards, 2017; Erdoğan vd., 2022b; Kabadayı, 2022). Havadan lazer tarama yöntemi uçaklar, dronlar ve helikopterlerden oluşur. Mobil lazer tarama yönteminde arabalar, tekneler, trenler ve el cihazları bulunur. Yersel lazer tarama yönteminde tarayıcı genellikle bir tripodun üzerinde bulunur (Kabadayı & Erdoğan, 2022a; Kabadayı & Erdoğan, 2022b; Keitaanniemi, 2023).

Kültürel mirasın içerisinde yer alan ve küçük boyuttaki eserlerin modellenmesinde son dönemde kullanılan yöntemlerden biri de mobil lazer taramanın içerisinde bulunan el tipi lazer tarama yöntemidir (Hamal vd., 2020; Kapica vd., 2019; Ulvi vd., 2019; Kaya vd., 2021; Uzun vd., 2022; Kabadayı & Erdoğan, 2023).

Literatürde el tipi lazer tarama ile ilgili son dönemde birçok çalışma yer almaktadır.

Allard vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada müzede sergilenmek üzere Polhemus Fastscan marka el tipi lazer tarayıcılarla insan iskelet kalıntılarını

modellemişlerdir. Oluşan modelleri Z-Corp Z406 marka 3B yazıcı kullanarak kopyasını oluşturmuş ve başarılı bir şekilde müzede sergilemişlerdir (Şekil 1).

Kaneda vd. (2022) yaptıkları çalışmada tarihi bir çömlek eserini yersel fotogrametri tekniği ve el tipi lazer tarama tekniği ile modellemişlerdir. Yersel fotogrametri tekniğinde dönel platform kullanmışlardır. Yersel lazer tarama tekniğini Creafom HandySCAN BLACK marka el tipi lazer tarayıcı ile yapmışlardır. İki yöntemle elde edilen modellerden ölçüler alarak bu ölçüleri obje üzerinden çelik metreyle ölçü alarak doğruluklarını karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırma sonucunda oluşan modellerin tutarlı ve birbirine oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Uzun vd. (2022) yaptıkları çalışmada FARO Freestyle 3B marka el tipi lazer tarama verilerini kullanarak insan yüzünün 3B modeli üretilerek güzellik ve bakım sektöründe kullanılabilirliğinin avantaj ve dezavantajları değerlendirmişlerdir. El tipi lazer tarayıcılar ile elde edilen veriler bu sektörde özgün olarak kullanılabilirdiği sonucuna varılmıştır.

Ghahremani vd. (2015) araştırmasında olduğu gibi kaynak bağlantılarında yüksek frekanslı mekanik etkinin doğruluğunu gerçekleştirmek için son derece ayrıntılı nesnelere belgeleyebilen bir araç kullanmak istemişlerdir. Araştırmalarında, nesnelere yakın mesafeden yüksek doğrulukla taramak için tasarlanmış bir el tipi lazer tarayıcı olan EXAscan™'i kullanmışlardır. Sonuç olarak elde edilen verilerden nesnelere küçük deformasyonları tespit etmek mümkün olmuştur.

Macphee & Jasra (2017) yapmış oldukları çalışmada FARO Freestyle marka el tipi lazer taramanın yeteneklerini ve sınırlamalarını test etmek istemişlerdir. Sahte bir suç mahalli tasarlanmış ve bu suç mahallinde bulunan deliller taranmıştır. Karanlık ortamlarda tarayıcının çalışıp çalışmadığının testi için karanlık ortamda tarama işlemi yapılmıştır. Tarayıcı renkli tarama yüzeylerini tarayamamış, fakat parmak izi ve etiket gibi detayları tarayabilmiştir. Tarayıcı koyu renkli yüzeylerde zorluk yaşamış fakat süre olarak fazla bir zamanda bu taramayı da gerçekleştirmiştir. Tarayıcının çok fazla zaman gerektirmeyen adli vaka çalışmalarında sağlıklı bir şekilde kullanılabilirdiği tespit edilmiştir.

Arico vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada UNESCO kültür mirasında yer alan St. John of the Hermits kompleksini Stonex HX 120 marka el tipi lazer tarayıcı ile taramışlardır. Tüm alan hızlı ve sağlıklı bir sonuç vermiştir. Kompleksin yapısından dolayı modellemelerde nokta bulutu filtrelemede alternatiflerin değerlendirilmesine imkân sağlanmıştır.



Şekil 1. Modellenen insan iskeleti (Allard vd., 2005).

Büyük ölçekli yapıdaki ve yoğun bitki örtüsünün olduğu kompleksin sağlıklı şekilde modellenmesi gelecek çalışmalar açısından umut verici olmuştur.

Bu çalışmada el tipi lazer tarayıcıların küçük boyuttaki objelerde kullanılabilirliği ve bu yöntemle yapılmış bir çalışma değerlendirilmiştir. Bu kapsamda küçük boyuttaki iki obje FARO Freestyle marka el tipi lazer tarayıcı ile taranmıştır (Şekil 2). İki obje için nokta bulutu, Scene özel yazılımı yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşan modeller üzerinden ölçüler alınmış ve objeler üzerinden aynı uzunluklar elektronik kumpas yardımı ile de ölçülmüştür. Elektronik kumpas ölçüsü referans ölçü kabul edilmiş ve el tipi lazer tarama verilerinin gerçeğe yakınlığı ve kullanılabilirliği araştırılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan objeler.

2. Yöntem

Yersel Lazer Tarayıcılar, farklı uygulamalar için farklı özelliklere sahiptir. Bu tarayıcılar teknik özelliklerine göre farklı tarama ilkeleriyle tasarlanmıştır. Bu tarayıcılar üç farklı tarama ilkesine göre tasarlanmıştır; Uçuş zamanlı, Faz tabanlı ve Üçgenleme. El tipi lazer tarayıcılar üçgenleme prensibine göre çalışmaktadır.

2.1. El Tipi Lazer Tarayıcı

Çalışmada kullanılan Faro Freestyle 3B, bir tablet ve tarayıcıdan oluşmaktadır (Şekil 3). Tabletle tarayıcı bağlantı kablosuyla birbirine bağlıdır. Tarama işlemi eş zamanlı olarak tablet ekranından takip

edilmektedir ve eksik veri alanları tarama dışında bırakılabilir. İki kızılötesi kamera, bir renkli ışık kamerası ve bir lazer kaynağı entegre edilmiştir. Kızılötesi lazer kaynağı, iki kızılötesi kamera tarafından kaydedilir, ilişkilendirilen ve üçgenlenen bir modeli yansıtmak için kullanılır. Nokta bulutunu renklendirmek için renkli ışık kameraları kullanılır (Gerke vd., 2017).

Tarama verileri taranan yüzeylerden nokta bulutu oluşturularak bunları tablette bulunan hafıza kartına kaydeder. Verilerin işleme süreci FARO firmasına ait özel yazılım olan Scene yazılımı ile yapılmıştır. hafıza kartında bulunan verilerin Scene yazılımı ile 3B modeli oluşturulmuştur. Scene yazılımı nesnenin doğru bir şekilde yeniden oluşturulması ve nesne üzerinden doğru ölçüleri almak için çok sayıda taramanın bir arada değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Unver vd., 2016; Girardet vd., 2019).

Faro Freestyle 3B objeden elde edilen hassas ölçümlerinin ve doğru bir şekilde 3B modelinin oluşturmasını sağlayabilir. Renkli yüzeylerin taranmasında bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Koyu yüzeylerin taranması uzun süre almaktadır. Tarayıcıda bulunan kızılötesi sayesinde süreç biraz kısaltılabilmektedir (Girardet vd., 2019; Pollard, 2018).



Şekil 3. FARO Freestyle 3B Tarayıcı.

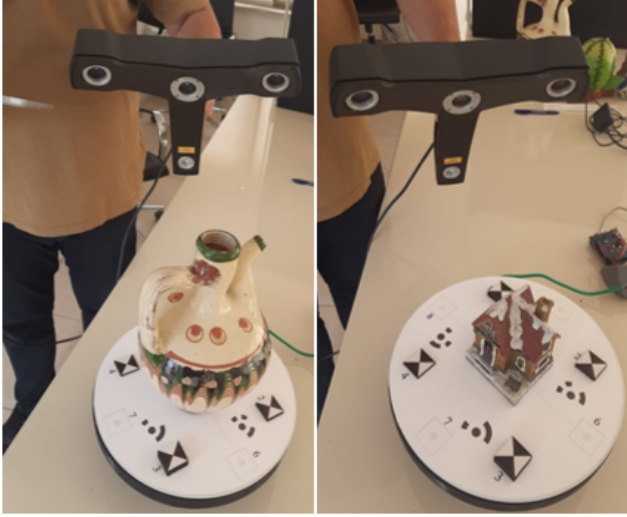
Tablo 1. FARO Freestyle 3B Tarayıcının özellikleri

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

3. Uygulama

Çalışma el tipi lazer tarayıcı ile ev biblosu ve vazo objesinin modellenmesinde FARO Freestyle 3B lazer tarayıcı kullanılmıştır.

Uygulama lazer tarama verilerinin elde edilmesiyle başlamıştır. Etrafında kolay bir şekilde dönülebilecek bir masanın ortasına objeler konulmuştur. Objelerle tarayıcı arasındaki mesafe yaklaşık 1 metre olacak şekilde ayarlanmış ve objenin etrafında 360° dönülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışmadaki objelerin taranması.

Tarama işlemi bittikten sonra veriler tablettan alınarak Scene özel programına aktarılmış ve veri işleme kısmına geçilmiştir. Nokta bulutu oluşturulmuş ve gereksiz veriler temizlenmiştir. Sonrasında objelerin 3B modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4-5).

Objelerin ölçülen uzunlukları kontrol edilmek üzere elektronik kumpasla da ölçülmüştür (Şekil 8-9). Elde edilen tüm ölçümler Tablo 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Ev biblosunun 3B modeli.



Şekil 5. Vazo objesinin 3B modeli.

Objeler modellendikten sonra oluşan modeller üzerinden ölçüler alınmıştır. Alınan ölçüler nokta bulutu yoğunluğundan dolayı çok hassas olarak alınamamıştır (Şekil 6-7).



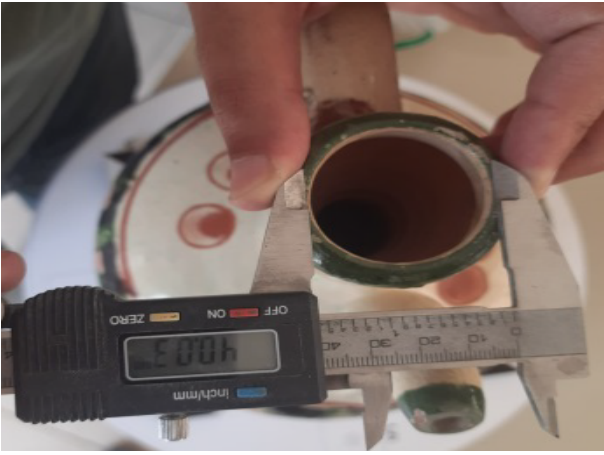
Şekil 6. Vazo objesinden el tipi lazer tarama yöntemiyle elde edilen uzunluk ölçüsü.



Şekil 7. Ev biblosu el tipi lazer tarama yöntemiyle elde edilen uzunluk ölçüsü.



Şekil 8. Ev biblosu elektronik kumpasla elde edilen uzunluk ölçüsü.



Şekil 9. Vazo objesi elektronik kumpasla elde edilen uzunluk ölçüsü.

Tablo 2. Uzunluk Ölçüleri

	Elektronik Kumpas (m)	Scene (m)
Uzunluk 1	0,040	0,044
Uzunluk 2	0,084	0,081

4. Sonuçlar

Bu çalışmada kültürel mirasın içerisinde yer alan küçük objelerin modellenmesinde kullanılan ölçüm tekniklerinden el tipi lazer tarama yöntemiyle modeller oluşturulmuş ve oluşan modeller değerlendirilmiştir. Operatör çalışmada uygun çevre koşullarında ve uygun mesafeden taramayı gerçekleştirmiştir. Tarama verileri Scene özel yazılımına aktarılmış ve nokta bulutu oluşturulmuştur. Gereksiz noktalar temizlenmiştir. Elde edilen modeller obje yüzeylerindeki renk yoğunlukları, operatörden kaynaklı hatalar ve tarayıcının kısıtlamalarında dolayı nokta bulutu yoğunluğu olarak yeteri yoğunlukta sonuç vermemiştir. Karmaşık ve ayrıntının çok olduğu alanlarda seçicilik net olmadığı için model üzerinden alınan ölçüler hata olarak değişken olmuştur. Ölçümler elektronik kumpasla ölçülmüş ve kontrol

edilmiştir. Üzerinden alınan ölçüler net olarak seçilemediği için ölçüm değerleri hassas çalışmalar için uygun görülmemektedir. Literatürde bu yöntemle yapılan çalışmalar daha çok mekan taramaları ve daha büyük objelerin taramaları şeklindedir. El tipi lazer tarayıcılarının kullanım kolaylığı ve yapılan ölçümlerin hızlı sonuçlar vermesi bu yöntemin küçük boyuttaki çalışmalarda kullanılması gerekmektedir. Tarayıcının kısıtlamaları nedeniyle geliştirilmesi gerekse de küçük boyuttaki objeler için çalışma gelecek çalışmalar açısından umut verici olmuş gelişen teknoloji ile beraber bu yöntemin geliştirilerek ileriki çalışmalarda da kullanılabilirliği öngörülmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Zekeriya Kaçarlar'ın tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2020-1-AP5-4071 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Zekeriya Kaçarlar: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Yazım;
Ali Ulvi: Kontrol, Analiz, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Allard, T., Sitchon, M., Sawatzky, R., & Hoppa, R. (2005, November). Use of hand-held laser scanning and 3D printing for creation of a museum exhibit. In *6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*.
- Arayıcı, Y. (2007). An Approach for Real World Data Modelling with the 3D Terrestrial Laser Scanner for Built Environment. *Automation in Construction*, 16(6), 816-829.
- Aricò, M., La Guardia, M., Lo Brutto, M., Rappa, E. M., & Vinci, C. (2023). Mobile Mapping for Cultural Heritage: The Survey of the Complex of ST. John of the Hermits in Palermo (Italy). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 25-32.
- Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022a). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV*, 2(2), 35-40.

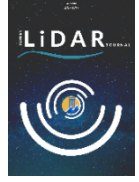
- Erdoğan, A., Görken, M., Kabadayı, A., & Temizel, S. (2022b). Evaluation of green areas with remote sensing and GIS: A case study of Yozgat city center. *Advanced Remote Sensing*, 2(2), 58-65.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- Gerke, M., Rein, B., & Ghassoun, Y. Handgeführte 3D-Scansysteme zur Ver-voll Ständigung von Punktwolken aus Terrestrischen oder Mobilen Laserscannern 2017. *DVW-Schriftenreihe*, 88, ISBN:9783957861450, 50.
- Ghahremani, K., Safa, M., Yeung, J., Walbridge, S., Haas, C., & Dubois, S. (2015). Quality Assurance for High-Frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment of Welds Using Handheld 3D Laser Scanning Technology. *Welding in The World*, 59, 391-400s.
- Girardet, V., Grussenmeyer, P., Reis, O., Kieffer, J., Guillemin, S. & Moisan, E. (2019). 3D Indoor Documentation of the Winter Garden in the Earthenware Museum at Sarreguemines (France). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 527-532s.
- 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), 55-60s.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Rölöve ve Restütasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022a). Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62-67.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022b). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Kadastroda Binaların Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(2), 66-72.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- Kabadayı, A., Yunus, K., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- Kaneda, A., Nakagawa, T., Tamura, K., Noshita, K., & Nakao, H. (2022). A Proposal of A New Automated Method for Sfm/MVS 3D Reconstruction Through Comparisons of 3D Data by Sfm/MVS and Handheld Laser Scanners. *Plos One*, 17(7), e0270660.
- Kanun, E., Metin, A., & Yakar, M. (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 58-64.
- Kapica, R., Vrublová, D. & Mučková, J. (2019). 3D Documentation and Visualization of the Listed Objects in Areas Affected by Mining Activities. In *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2019*, 3-10.
- 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.
- Keitaanniemi, A. (2023). Improving The Measurement Strategies and Post-Processing of Simultaneous Localization and Mapping Based Handheld Laser Scanning. *Doctoral Theses, Aalto University, Department of Built Environment, Espoo*, 1-2.
- Liu, L., Soibelman, L., & Trupp, T. (2004). Novel Technologies for Construction Field Data Collection. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ICCCBE, Weimar, German*.
- Ma, Z., & Liu, S. (2018). A Review of 3D Reconstruction Techniques in Civil Engineering and Their Applications. *Advanced Engineering Informatics*, 37, 163-174.
- Macphee, M., & Jasra, P. (2017). Evaluation of the Capabilities and Limitations of the FARO Freestyle 3D Handheld Scanner. *Journal of Emerging Forensic Sciences Research*, 2(1), 75-80.
- Pärn, E. A., & Edwards, D. (2017). Vision and Advocacy of Optoelectronic Technology Developments in the AECO Sector. *Built Environment Project and Asset Management*, 7(3), 330-348.
- Pejić, M., Ogrizović, V., Božić, B., Milovanović, B., & Marošić, S. (2014). A Simplified Procedure of Metrological Testing of the Terrestrial Laser Scanners. *Measurement*, 53, 260-269.
- Pollard, A. (2018). A Multispectral Imaging and 3D Modelling Project on the Arundel Marbles. *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims*, 14-163.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. & Kaya, Y. (2019). The use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: *The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb*. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Unver, E., Taylor, A., & Ball, A. (2016). Comparative Analysis of Mobile 3D Scanning Technologies for Design, Manufacture of Interior and Exterior Tensile Material Structures and Canvasman Ltd. Case Study.
- Uzun, S. D., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe

- Kullanımının Değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 17-20s.
- Xu, Y., & Stilla, U. (2021). Toward Building and Civil Infrastructure Reconstruction from Point Clouds: A Review on Data and Key Techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2857-2885s.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.*
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yılmaz, I. (2009). A research on the accuracy of landform volumes determined using different interpolation methods. *Scientific Research and Essay*, 4(11), 1248-1259.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for Li DAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.



© Author(s) 2023.

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



Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı

Adem Kabadayı ^{1*}

^{1*} Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Mersin, Türkiye;
(adem.kabadayi@bozok.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kabadayı, A. (2023).
Yersel Lazer Tarayıcıların
Tarihi Köprülerin
Modellenmesinde Kullanımı.
Türkiye LiDAR Dergisi, 5(2),
68-75.

Geliş : 24.11.2023
Revize : 12.12.2023
Kabul : 14.12.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Tarihi alanları dijital olarak korumak için en son 3B ölçüm teknolojilerini kullanmak, haritalama çözümleri için yeni olanaklar sunuyor. Klasik takeometri gibi geleneksel yöntemler yerine lazer tarayıcıların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kullanılan donanımların geliştirilmesiyle 3B yersel lazer taramada elde edilen verilerin doğruluğunu ve duyarlılığını, tarama hızını, obje nesne arasındaki maksimum mesafeyi ve ölçülebilen obje hacmini arttırmak mümkün olmaktadır. Bu makale, tarihi köprülerin cephe verilerinin 3B ortamda belgelenmesi için yersel lazer tarama teknolojisinin kapasitesini değerlendirmektedir. Bunu, kayıtlı renklendirilmiş nokta bulutlarına dayalı 3B görselleştirme modelinin oluşturulması takip etmektedir. Çalışma, tarihi köprüünün geometri verilerini kaydetmek için yersel lazer tarayıcı olan FARO lazer tarayıcı sistemi kullanılmıştır. Geometrik nesnenin renk bilgisini yakalamak için lazer tarayıcıya entegre edilen kameradan elde edilmiştir. Lazer tarama yapılan istasyonların nokta bulutları arasındaki ortalama standart sapma kayıt sonrasında 4.4 mm olarak hesaplanmıştır. Teknolojik yaklaşımımız, otomatik renklendirme işlemi ile tarihi anıtın 3B renkli görselleştirme modelini oluşturma olanağı sağlamaktadır. Detaylı yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerden RGB değerlerinin 3B nokta bulutu verilerine eklenmesi FARO Scene yazılımı kullanılarak tamamlanmıştır. Bu sayede 3B model çok daha fotogerçekçi bir şekilde görselleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lazer tarayıcı, belgeleme, tarihi köprü.

The Use of Terrestrial Laser Scanners in Modeling Historical Bridges

*Corresponding Author:
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

Research Article

Citation: Kabadayı, A. (2023).
The Use of Terrestrial Laser
Scanners in Modeling
Historical Bridges. *Turkish
Journal of LiDAR*, 5(2), 68-75
(in Turkish).

Received : 24.11.2023
Revised : 12.12.2023
Accepted : 14.12.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Using the latest 3D measurement technologies to digitally preserve historic sites opens up new possibilities for mapping solutions. The use of laser scanners instead of traditional methods such as classical tachometry is becoming widespread. By improving the hardware, it is possible to increase the accuracy and sensitivity of the data obtained in 3D terrestrial laser scanning, the scanning speed, the maximum distance between object and object, and the volume of objects that can be measured. This paper evaluates the capability of terrestrial laser scanning technology for documenting facade data of historic bridges in 3D. This is followed by the creation of a 3D visualization model based on registered colored point clouds. The study uses the FARO laser scanner system, a terrestrial laser scanner, to record the geometry data of the historical bridge. The color information of the geometric object was obtained from the camera integrated in the laser scanner. The average standard deviation between the point clouds of the laser scanned stations was calculated as 4.4 mm after registration. Our technological approach allows us to create a 3D color visualization model of the historical monument with automatic colorization process. The RGB values from the detailed high-resolution digital images were added to the 3D point cloud data using FARO Scene software. In this way, the 3D model can be visualized in a much more photorealistic way.

Keywords: Laser scanning, documentation, historical bridges.

1. Giriş

Kültürel mirasın korunması, gelecek nesillerin tarihi olaylar hakkında eğitilmesi için önemlidir. Ayrıca, tarihi köprüler ve eserler geçmiş kuşaklardan bize kalan, bugün korunması gereken ve gelecek nesillere aktarmamız önem arz eden tarihi varlıklardır. (Prentice, 1993; Yılmaz & Uysal, 2017; Kaya vd., 2021). Kültürel miraslar insanlık tarihinin her döneminden en gelişmiş yöntemler, bilgiler ve yaşam tarzları bize aktarılmıştır (Ulvi vd., 2014; Yılmaz & Uysal, 2016; Alptekin & Yakar, 2021; Karataş vd., 2022; Kuşak vd., 2021). Bu nedenle, tarihi köprülerin ya da yerlerin incelenmesi ve görselleştirilmesi en önemli konulardan biri olmuştur. Büyük tarihi değerlerinden dolayı, tarihi eserlerin korunması çok önemli bir konudur. Bu eserler çok sayıda inşa, hasar ve restorasyon aşamasından geçmiştir ve olabilecek tehlikelere karşı savunmasızdır. Tarihi bir anıtın oldukça hassas bir şekilde ölçülmesi ve modellenmesi önem arz etmektedir. Çok detaylı bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, bu yapıların 3B modellenmesi ve görüntülenmesi çok zaman ve çaba gerektirmekte, ayrıca çok yüksek işlem yeteneğine sahip bilgisayarlara gereksinim duyulmaktadır. Bu işlemleri kolaylaştırmak için yeni bir dijital 3B yersel lazer tarama tekniği geliştirilmiştir (Yılmaz, 2009; Kanun vd., 2021; Yakar & Doğan, 2017; Yılmaz & Yakar, 2006a). Bu tekniğin uygulanması, 3 boyutlu bir tarihi köprü modelinin otomatik yollarla algılanması için gereken süreyi azaltmaktadır. Araştırma topluluğu genellikle tarihi yapıların, köprülerin veya arkeolojik alanların yeniden inşası ve korunması için 3B lazer taramanın kullanımını bütünlük, doğruluk ve hız özellikleri nedeniyle kabul etmektedir (Ünal vd., 2004; Yılmaz & Yakar, 2006b; Yılmaz & Yakar, 2008; Yılmaz vd., 2015).

Konuyla ilgili çok sayıda çalışma, bilimsel araştırmalarda, yapılı çevre uygulamalarında ve mirasın korunmasında kullanılmak üzere öğelerin ve konumların belgelenmesinde bir araç olarak yersel lazer tarayıcıların etkinliğini ortaya koymuştur. Ruther ve ark. (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada, kültürel alanın doğru ve gerçekçi bir üç boyutlu modeli kullanıldığında gelecekteki restorasyon ve koruma çalışmalarının potansiyel estetik ve pratik sonuçları incelemiştir. Mevcut bilgiler hala kâğıt ve fotoğraf formatında olduğundan, kültürel mirasın dijital dokümantasyonu, gelecek nesiller ve yenileme için dijital bir referans ve kaydolarak çok önemlidir. Tasarımın karmaşıklığı ve yüksek hassasiyet gereksinimleri nedeniyle, geleneksel 3B modelleme araçları kültürel mirasla ilgili uygulamalar için genellikle yetersiz kalmaktadır; bunun aksine, 3B lazer tarama teknolojisi yapı detaylarındaki yüksek

ayrıntıları yakalayabildiğine değinmişlerdir. Ulvi ve ark. (2021), mühendislik alanındaki teknolojik gelişmeler, yeraltı hatlarını tespit etmek için giyilebilir mobil lazer tarayıcıların kullanılmasına yol açmıştır. Bu teknik, bilinmeyen ortamların haritalarını oluşturmak için eşzamanlı bir konum belirleme ve haritalama algoritması kullanarak kanalizasyon, su ve doğal gaz boru hatlarının belirlenmesini ve bunların GPS cihazlarıyla doğrulanmasını üzerine çalışma yapmışlardır. Ulvi ve Yiğit (2022), hızlı bir veri toplama tekniği olan giyilebilir mobil lazer tarayıcıların yönteminin doğruluğunu ve hassasiyetini kültürel mirasın korunmasına yönelik geleneksel yöntemlerle karşılaştırmaktadır. Çalışmalarında on sekiz kontrol noktasını ölçmek için total-station teknikleri kullanılmış ve her bir noktanın karesel ortalama hatası hesaplamışlardır. Yersel lazer tarayıcı yöntemi 0,8 cm ile en iyi karesel ortalama hatası değerine sahipken, insansız hava aracı fotogrametrisi ve Giyilebilir Mobil Lazer Tarayıcının yöntemleri sırasıyla 2,64 cm ve 4,92 cm karesel ortalama hatası değerlerine sahip olduğuna değinmişler. Çalışmalarında Giyilebilir Mobil Lazer Tarayıcı'nın kültürel miras belgelenmesinde önemli bir yenilik olduğu sonucuna varmışlardır. Ulukok ve Ulvi (2023), Yasadışı yerleşimler hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde önemli bir sorundur ve önemli mali, kaynak ve zaman kayıplarına neden olmaktadır. Yoğun kentsel alanlarda doğru haritalama ve izleme maliyetli ve zaman alıcıdır. Uzaktan algılama ve İHA teknolojileri haritalamada devrim yaratarak yasadışı yapıların tespit edilmesini kolaylaştırmışlar. Bu da çarpık kentleşmenin ve kaçak yapılaşmanın yol açtığı sosyo-ekonomik sorunların önlenmesini sağlamıştır. Sabit kanatlı İHA ile havadan görüntüleme yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, iki farklı zamanda elde edilen ortofotolar kullanılarak belirli bir bölgede 163 kaçak yapı tespit etmişler. Teknolojideki bu ilerleme, şehirlerdeki çarpık kentleşmenin ve sosyo-ekonomik sorunların önlenmesine yardımcı olabileceğine değinmişlerdir. Alptekin ve ark. (2019), Mersin'deki Kanlıdivane Harabeleri de dahil olmak üzere Türkiye'nin tarihi eserlerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılması için bilgisayar modellemesi gerekmektedir. Kalan az sayıdaki sağlam yapıdan biri olan türbenin 3B modeli, yerel bir lazer tarayıcı kullanılarak oluşturulabilmektedir. Model, turizm tanıtımı ve gelecekteki restorasyon çalışmaları için kullanılabilirliğine değinmişlerdir. Cheng ve ark. (2014), büyük çok katmanlı kavşak köprülerinin 3 boyutlu yeniden yapılandırılması için LİDAR verilerinin kullanımını araştırmaktadır. Nokta bulutu çıkarma, bağlantı tabanlı segmentasyon, restorasyonu ve 3 boyutlu modellemeyi içeren yapı birimlerine dayanan yeni bir çerçeve önerilmiştir. Çerçeve, hiyerarşik bir segmentasyon stratejisi ve tıkalı yapıları

tespit etmek ve geri yüklemek için otomatik bir teknik içermektedir. Deneysel sonuçlar, büyük karmaşık köprülerin tatmin edici 3 boyutlu modellerini göstermektedir. Avşar (2006), tarihi bir köprüyü dijital olarak fotoğraflamak için yer tabanlı fotogrametrik teknikler kullanılmış ve her taş için 2D ve 3D koordinatlar elde edilmiştir. Bu veriler, sanal bir model ve kısa bir avi video oluşturmak için kullanılmış ve bu tekniklerin kültürel mirasın korunmasındaki faydalarını göstermiştir. Edoğan ve ark. (2021), Yavuz Sultan Selim tarafından 1516 yılında yaptırılan Karabıyık Köprüsü'nün İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılarak fotogrametrik 3D modellemesini yapmışlardır. Veriler daha hızlı, hassas, güvenli ve ekonomik bir şekilde elde edilerek restorasyon projeleri için tarihi ve kültürel değerlerin kalitesi artmasına katkı sunduğuna değinmişlerdir.

3B yersel lazer taramanın (YLT) kültürel varlıkların kaydedilmesi ve belgelenmesindeki etkinliğinin kapsamlı bir şekilde belgelenmesi nedeniyle, son birkaç yılda uygulamasının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, kullanıcılara karmaşık 3B sahnelerin yapısı hakkında kısa sürede daha doğru mekânsal bilgiler verebilmesidir. Kullanıcılar bir köprüyü veya yapıyı interaktif olarak gezebilir ve nesnenin gerçekçi bir izlenimini yaratmak için lazer tarayıcı tarafından üretilen 3B renkli nokta bulutları verilerini kullanarak istenen herhangi bir açıdan veya konumdan gözlemleyebilir. YLT teknolojisi, daha ayrıntılı ve karmaşık 3B nokta bulutu verilerini birkaç dakika içinde üretirek ulaşılmaz zor yerlerde özellikle değerli hale getirmektedir. Ayrıca veri toplama verimliliğini de artırmaktadır.

Bu çalışmada, kültürel miras köprülerinin belgelenmesinde 3B YLT'nin pratik kullanımını gösteriyoruz. Bu proje için kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemi, faz kaydırma tabanlı bir lazer tarayıcı olan FARO S 350'dir. Bu proje, FARO yersel lazer tarayıcı sisteminin yüksek detaylı geometrik verilerini yakalama kapasitesini değerlendirmektedir. Son olarak, tarihi köprü'nün 3B renkli görselleştirme modeli FARO Scene kullanılarak üretildi.

2. Materyal ve Metot

Tarihi köprü'nün belgelenme işlemleri yersel lazer tarama yöntemi ile yapılmıştır. Yersel lazer tarayıcılar uzunluk ölçüm prensiplerine göre üç sınıfa ayrılır: uçuş zamanı, üçgenleme ve faz farkı tarayıcıları. Uçuş zamanı tarayıcılarının tarama aralığı çok geniştir. Faz farkı ölçümüne sahip tarayıcılar daha kısa mesafeleri ölçebilir, ancak ölçüm doğruluğu uçuş zamanı ölçümüne sahip tarayıcılara göre daha hassas ve doğrudur. Ayrıca üçgenleme yöntemi ile çalışan lazer tarayıcılar faz farkı yöntemi ile ölçüm yapan lazer

tarayıcılara göre daha hassas ve doğru sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, üçgenleme yöntemini kullanan lazer tarayıcılar küçük nesnelere için etkilidir (Atik & Duran, 2020; Ogawa & Hori, 2019; Suchocki vd., 2020). Bu çalışmada kullanılan ve temel bilgileri Tablo 1'de verilen FARO Focus3B S350 lazer tarayıcı, 0,6-350 m aralığında ve saniyede 976.000 nokta toplama kapasitesi ile faz farkı yöntemine göre çalışmaktadır.

Tablo 1. Yersel lazer tarayıcı FARO Focus S350'nin üretici tarafından sağlanan teknik performans özellikleri (Faro, 2022).

Özellik	Değer
Ölçüm aralığı	0,6–350 m iç ve dış mekanda %90 yansıtıcı yüzeye dik geliş açısı
Ölçüm hızı	976.000 puan/saniyeye kadar
Menzil Doğruluğu (10-25 m ölçümler için)	±2 mm
Yerel Doğruluk	±5 mm
Görüş alanı (dikey/yatay)	300°/ 360°
Renk birimi çözünürlüğü	70 megapiksele kadar renkli
Lazer sınıfı Işın sapması	1 Tipik 0,19 mrad (0,011°) (1/e, yarım açı)

Çalışma için nokta bulutları 1 cm'lik bir mekânsal çözünürlükle elde edilmiştir. Bu değer, nihai 3B modelin ayrıntı düzeyi ile veri işleme için gereken bilgisayar kaynakları arasında kabul edilebilir bir uzlaşma olarak seçilmiştir. Taramalar aynı günde 20 oturum olarak gerçekleştirilmiştir. Bir araştırma tasarımı öncelikle YLT istasyonlarının konumlarını tanımlamalı, böylece istenen mekânsal çözünürlükte tüm nesne kapsamı garanti edilebilmelidir. Lazer tarayıcı yakın mesafelerde yaklaşık 1-2 mm hassasiyetle ölçümler üretebilir. Bir yüzey üzerindeki noktaların yoğunluğu tarayıcının çözünürlüğüne bağlı olacaktır (Dustin vd., 2016; Liscio & Le, 2022). Birçok lazer tarayıcı üreticisi, belirli bir mesafede nokta yoğunluğunu sağlayan bir ayar sunmaktadır. Örneğin, FARO lazer tarayıcıdaki 14'lük çözünürlük, 10 m mesafede yaklaşık 6 mm'lik bir nokta aralığına neden olmaktadır. Bu ayardaki nokta yoğunluğu, tarayıcıdan 5 m uzaklıktaki bir nesne için 3 mm ve tarayıcıdan 1 m uzaklıktaki bir nesne için 0,6 mm olmaktadır. Aksine kalite, bir noktanın örneklenme sayısı ile ilgilidir. Noktadan ne kadar çok örnek alınırsa verinin bilinen

veya gerçek değere mümkün olduğunca yakın olması gerekmektedir. Kalite ne kadar yüksek olursa tarama o kadar fazla zaman almaktadır. Örneğin, $\frac{1}{4}$ çözünürlükte ve 1x kalitede tarama süresi 1 dakika 30 saniye olurken, aynı çözünürlükte 4x kalite ayarında tarama süresi 7 dakika 46 saniye olmaktadır. Bu çalışmada $\frac{1}{4}$ çözünürlük ayarı ve 3x kalite ayarı kullanılmıştır (Liscio & Le, 2022). Tarayıcı duvardan kabaca 1 m uzağa yerleştirildi, bu da 1 mm'den daha az bir nokta aralığına yol açtığına değinmiştir.

Oturum yerlerinin konum belirleme işlemi sırasında, bir önceki tarama noktasında taranan alan ile bir sonraki noktada taranacak alan arasında minimum %60'lık bir örtüşme olmasına dikkat edilmiştir. Bazı test alanları yansıtıcı yüzeyler içermektedir. Lazer tarama teknolojilerinin çeşitli alanlardaki etkinliğini değerlendirmek olan çalışmanın amacı göz önüne alındığında, özellikle bu yansıtıcı bölgeler için ek önlemler uygulanmamıştır. Test, her biri kendine özgü yapısal özelliklere sahip dört farklı çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Her bir çalışma alanına ilişkin ilave kayda değer ayrıntılar ilgili bölümde verilmiştir. YLT verilerinin toplanmasının ardından, çeşitli yerlerden elde edilen tarama verileri buluttan buluta yaklaşımı kullanılarak entegre edilmiş ve ardından hedef noktalar kullanılarak coğrafi referanslama yapılmıştır. Referanslama öncesinde, her bir konum için nokta bulutu verileri Sapma filtresi, Karanlık tarama filtresi ve Mesafe filtresi yöntemleri kullanılarak filtrelemeden geçirilmiştir. Ayrıca, YLT nokta bulutu verileri bir temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, veriler yeniden örnekleme tabi tutulmuş ve ardından görüntü işleme aşamasına geçilmiştir. Görüntü işleme alanında, Üçgen Ağ ve Doku Eşleme teknikleri kullanılarak 3B modellerin oluşturulması ve yüksek kaliteli modellerin üretilmesi sağlanabilir. Bu işlem görüntü işleme iş akışının son aşamasında gerçekleşir.

3. Bulgular

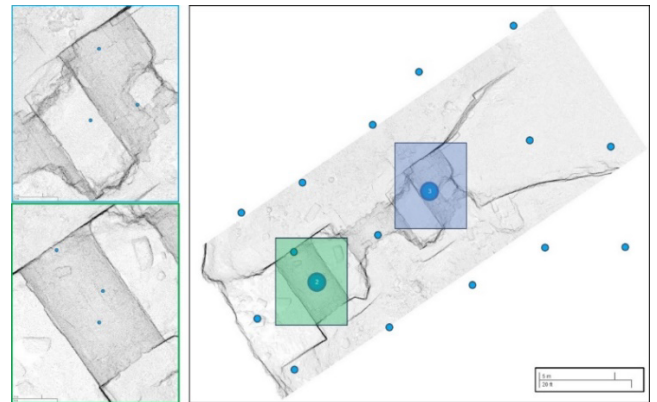
Tarihi Köprünün üzerindeki ve çevresindeki her tarama konumundan yakalanan YLT verileri, Şekil 1'de gösterildiği gibi, yapının büyük bir kısmını kapsayan büyük bir nokta bulutu oluşturmak üzere göreceli kayıt işlemine tabi tutulmuştur. YLT verilerinden geliştirilen nokta bulutunun sonucu, yaklaşık 909 milyondan fazla ayrık noktanın yanı sıra YLT'nin dahili kamerası aracılığıyla elde edilen renk bilgisini de içeriyor ve yaklaşık 18 gigabayt bilgisayar depolama alanı gerektiriyor.

20 tarama istasyonunun nokta bulutlarının filtrelenmesi ve kaydedilmesi/birleştirilmesi süreci, yoğunluk filtresi, karışık ve tek piksel filtreleri ve manuel gibi tahribatsız genel filtreler dikkate alınarak lazer tarama cihazının kendi yazılımı olan Scene kullanılarak gerçekleştirildi. İstenmeyen noktaları ortadan kaldırmak için gürültü azaltma filtresi uygulandı. Kayıt sürecinin zorlu kısmı, köprü tabliyesi seviyesinde alınan taramalar ile köprü tabliyesi altında alınan taramalar arasındaki ortak noktaları bulmak/eşleştirmektir. Bu bağlamda, otomatik tarama hizalama/buluttan buluta tekniği ve bazı belirli ortak noktaların hedef olarak seçilmesi ile bulunan yapay hedefler, iyileştirme amacıyla kullanılmıştır. Genel olarak tarama istasyonlarının nokta bulutları arasındaki ortalama standart sapma kayıt sonrasında 4, 4 mm olarak hesaplandı (Şekil 2).

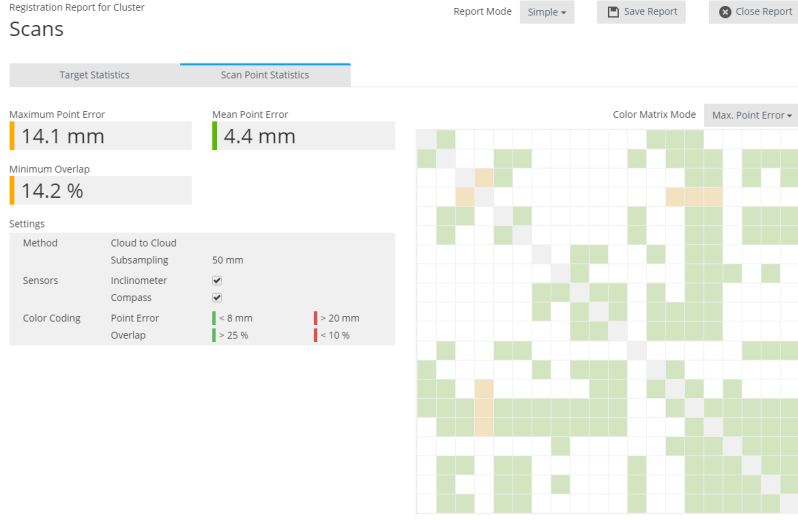
Lazer taramanın en son teknolojisi, hızlı, hassas ve hacimli veri toplama açısından avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazı yaygın endişeler/hatalar, elde edilen veri noktasının kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve bazı durumlarda, mevcut koşullarla karşılaştırıldığında hatalı 3B modellere ve yanlış yorumlara yol açabilir. Sonuç olarak Şekil 3 ve 4'te görüldüğü üzere tarihi köprünün yüksek kalitede 3B nokta bulutu üretilmiştir.

Yüksek kalitede 3B nokta bulutları üretildikten sonra bu veriler üzerinden Şekil 5'te gösterilen sayısal yükseklik modeli üretilmiştir.

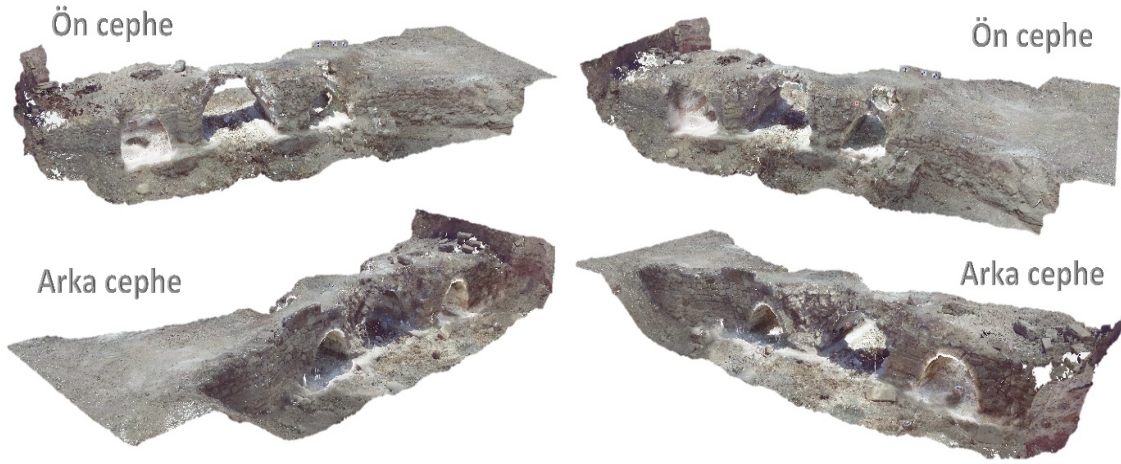
Üretilen veriler yardımıyla hassas belgelemenin yanında çeşitli metrik analizleri yapılabilmektedir. Örneğin herhangi iki nokta arasında mesafe veya hacim hesabı gibi ayrıca çeşitli hat kesitleri veya yüzey kesitleri alınabilmektedir. Örnek olarak köprünün bir cephesine ait yüzey kesiti olan ortofoto Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 1. Tarama konumları.



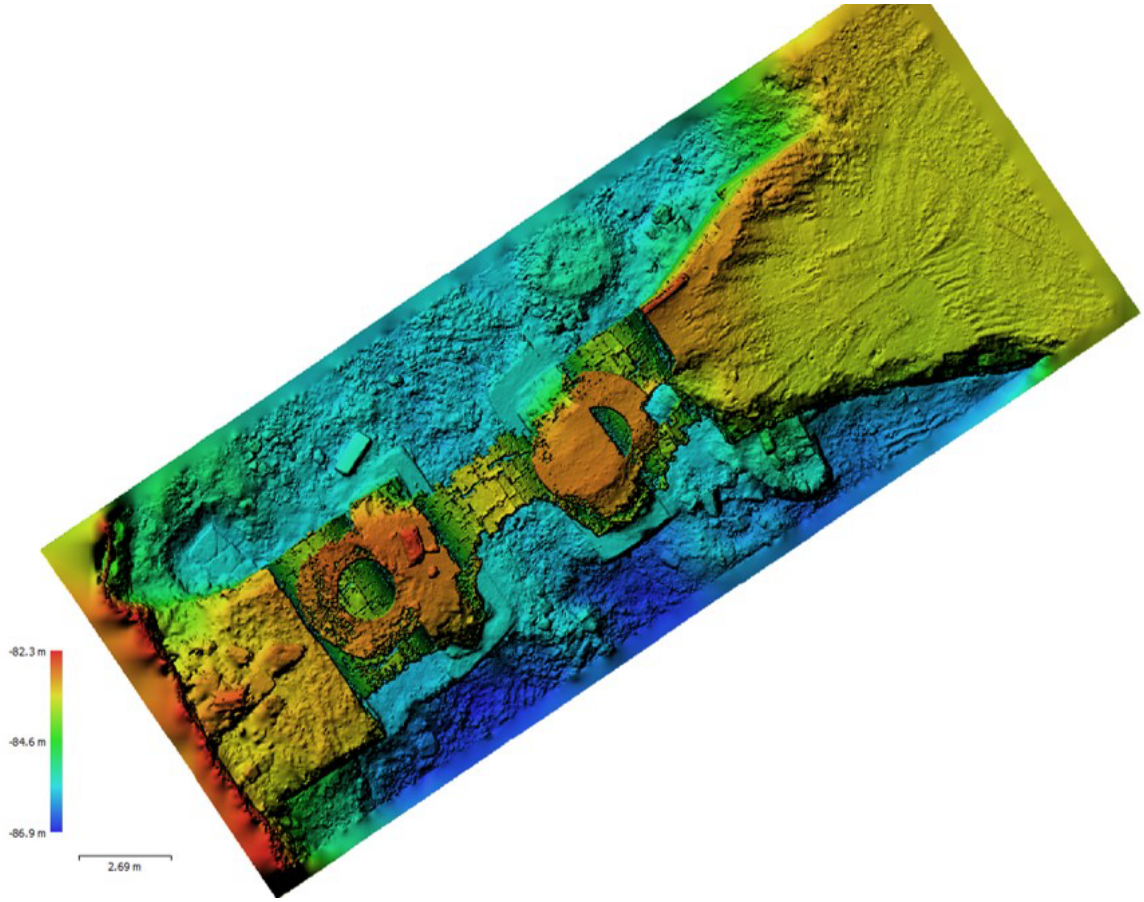
Şekil 2. Yersel lazer tarama oturumlarının birleştirme hata raporu.



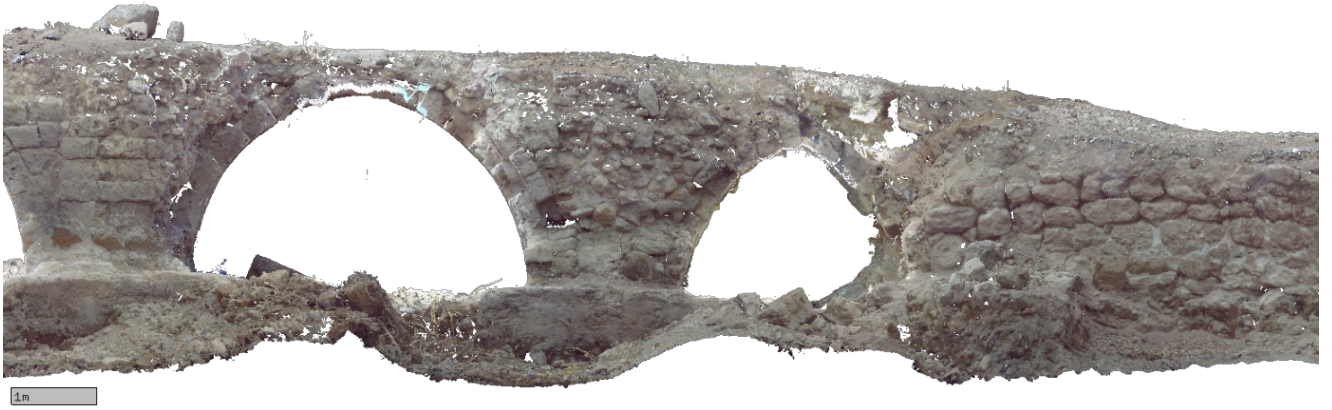
Şekil 3. Yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutları.



Şekil 4. Köprünün alt kısımlarının detaylı 3B nokta bulutu.



Şekil 5. Köprünün sayısal yükseklik modeli.



Şekil 6. Yapıya ait bir cephesinin ortofotosu.

4. Sonuçlar

Köprü denetimi ve yönetimiyle ilgili olarak, bu çalışma yalnızca köprü denetimi için Yersel Lazer Taramayı kullanarak ayrıntılı ve kesin bir bilgi kaynağı oluşturmak için değil aynı zamanda YLT'den türetilmiş bir denetim geliştirmek için de bir metodoloji önerdi. Önerilen veri tabanı, tarihi köprü varlık yönetimi ve yapısal değerlendirme dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için değerli bir bilgi kaynağı olarak kullanılabilir. Bu araştırma çalışmasında önerilen YLT'den türetilmiş 3B model, bir köprüyü sık sık şahsen tekrar ziyaret etme zorunluluğunun

üstesinden gelerek potansiyel zaman tasarrufu açısından varlık yöneticileri ve köprü mühendisleri için faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda dijital modellerin yerine dijital modellerin kullanılması yoluyla belge yönetimini de kolaylaştırabilir. Ayrıca, köprü raporları veya diğer herhangi bir köprü denetim verisi gibi ek bilgilerin bir köprünün dijital kopyasıyla ilişkilendirilmesi, ilgili personel arasında bu tür verilerin daha iyi anlaşılmasına ve daha düzgün bir şekilde iletilmesine yol açacaktır.

Çalışma ayrıca köprü izleme ve varlık yönetimi amacıyla bir 3B modeli ve geometrik olmayan bilgileri köprü yapısının her bir bileşenine bağlama yeteneğini

içeren YLT'den türetilmiş bir model geliştirmek için pratik bir metodoloji oluşturdu. Manuel ölçümleri toplamak ve bilgileri güncellemek için gereken zaman ve çaba göz önüne alındığında, bu araştırma çalışmasında açıklanan YLT uygulamasının önemli kullanımı, veri toplama ve 3B model oluşturma için etkili ve kesin bir yöntem sunar. Bu araştırma çalışmasında önerilen yöntemin sağlamlığını daha fazla değerlendirmek için, köprü ölçme süreci, 3B model oluşturma ve gerçek bir köprü vaka çalışmasının geliştirme süreci kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Köprü araştırma aşamasıyla ilgili olarak, uygun bir köprü araştırma planındaki önemli faktörler ve YLT kullanılarak yapılan temel faaliyetler gözden geçirildi. Tarihi köprü vaka çalışması durumunda, YLT uygulaması kabul edilebilir bir veri toplama süresi göstermektedir, ancak bu işlem manuel yaklaşımlar kullanıldığında birkaç hafta sürecektir. Bu çalışma, YLT ile veri toplamanın klasik yöntemlere göre alternatif olabileceğini gösterdi.

Yazarların Katkısı

Adem Kabadayı: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Analiz, Kontrol, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2019). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 1-4.
- Ulukok, A., & Ulvi, A. (2023). Yerel Yönetimlerde Kaçak Yapı Tespitinde İHA Kullanımı: Keçiören Belediyesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 7-19.
- Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö., & Alptekin, A., (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure map: a case of Mersin University. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 61-68.
- Ulvi, A., & Yiğit, A. Y., (2022). Comparison of the Wearable Mobile Laser Scanner (WMLS) with Other Point Cloud Data Collection Methods in Cultural Heritage: A Case Study of Diokaisareia. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(4), 1-19.
- Faro. (2022). Focus laser scanners. <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>

- Ogawa, T., & Hori, Y. (2019). Comparison with accuracy of terrestrial laser scanner by using point cloud aligned with shape matching and best fitting methods. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 535-541.
- Atık, M. E., & Duran, Z. (2021). Lokal özellik temelli yöntemler kullanılarak 3B yüz tanıma ve doğruluk analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 359-372.
- Suchocki, C., Damięcka-Suchocka, M., Katzer, J., Janicka, J., Rapiński, J., & Stałowska, P. (2020). Remote detection of moisture and bio-deterioration of building walls by time-of-flight and phase-shift terrestrial laser scanners. *Remote Sensing*, 12(11), 1708.
- Dustin, D., Liscio, E., & Eng, P. (2016). Accuracy and repeatability of the laser scanner and total station for crime and accident scene documentation. *J Assoc Crime Scene Reconstr*, 20(1), 57-67.
- Liscio, E., & Le, Q. (2022). Inter observer errors of cast-off stains using FARO zone 3D. *Forensic Science International*, 330, 111098.
- Cheng, L., Wu, Y., Wang, Y., Zhong, L., Chen, Y. ve Li, M. (2014). Havadaki LiDAR verilerini kullanarak büyük çok katmanlı değişim köprüsünün üç boyutlu yeniden inşası. *IEEE Uygulamalı Yer Gözlemleri ve Uzaktan Algılamada Seçilmiş Konular Dergisi*, 8(2), 691-708.
- Avşar, E. Ö. (2006). Tarihi köprülerin digital fotogrametri tekniği yardımıyla modellenmesi. Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 113.
- 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). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Prentice, R. (1993). *Tourism and Heritage Attraction*. London : Routledge, pp. 5.
- Ruther, H., Chazan, M., Schroeder, R., Neeser, R., Held, C., Walker, S.J., Matmon, A., & Horwitz, L.K. (2009). Laser Scanning for conservation research of African cultural heritage sites: the case study of wonderwork cave, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1847-1856.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- 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.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.

- 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.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- Kuşak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS*, 1103, 1108.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara*.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for Li DAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- Yılmaz, I. (2009). A research on the accuracy of landform volumes determined using different interpolation methods. *Scientific Research and Essay*, 4(11), 1248-1259.
- Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.



© Author(s) 2023.

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