



TÜRKİYE

LIDAR

DERGİSİ

e-ISSN 2717-6797

Cilt/Volume: 2

Sayı/Issue: 2

Aralık/December

2020





Türkiye LİDAR Dergisi
Turkish Journal of LIDAR



Dergi Hakkında

Türkiye LİDAR Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak LİDAR alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan ve Uluslararası İndeks ve Veri tabanlarında taranan bir dergidir.

Amaç & Kapsam

Türkiye LİDAR Dergisi,

- ✦ Yersel, hava ve mobil LİDAR kullanım alanında ulusal ve uluslararası gelişmeleri; Harita, Jeoloji, Çevre, Maden, Şehir Plancılığı, Ziraat vb. mühendislik alanı, Arkeoloji ve mimarlık ile ilgilenen bilim insanlarının bilgisine sunmak,
- ✦ Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan bilim insanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- ✦ Türkiye'nin teknolojik ve ekonomik kalkınmasında rol oynayabilecek mesleki gelişmelere ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlar arası işbirliğinin LİDAR verileri kapsamında başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

Türkiye LİDAR Dergisinin kapsamı;

- ✓ Temel LİDAR Uygulamaları,
- ✓ LİDAR ile uzaktan algılama ve sanal gerçeklik (VR) uygulamaları,
- ✓ LİDAR verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu,
- ✓ LİDAR ile Endüstriyel ölçmeler,
- ✓ LİDAR ile deformasyon ölçmeleri,
- ✓ LİDAR ile madencilik ölçmeleri,
- ✓ LİDAR ile Şehircilik ve ulaşım planları çalışmaları,
- ✓ LİDAR ile tarım uygulamaları,
- ✓ LİDAR ile hidrografik uygulamaları,
- ✓ LİDAR ile yapılan tüm multidisipliner çalışmalar,

Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

ISSN

2717-6797

WEB

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

İletişim

aulvi78@gmail.com



Türkiye LİDAR Dergisi
Turkish Journal of LIDAR

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ

Mersin Üniversitesi, FBE / Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Mersin

EDİTÖR KURULU

- **DOÇ.DR. MURAT UYSAL,**
muysal@aku.edu.tr,
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. HAYRİ ULVİ,**
hayriulvi@gmail.com,
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ ALPER AKAR,**
alperakar@erzincan.edu.tr,
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM AKAR,**
oakar@erzincan.edu.tr,
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ NİZAR POLAT,**
nizarpolat@harran.edu.tr,
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ALİ DERELİ,**
madereli@gmail.com,
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ RESUL ÇÖMERT,**
rcomert@gumushane.edu.tr,
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

DANIŞMA KURULU

- **PROF. DR. MURAT YAKAR,**
myakar@mersin.edu.tr,
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
- **PROF. DR. HACI MURAT YILMAZ,**
hmuraty@gmail.com,
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
- **PROF. DR. İBRAHİM YILMAZ,**
iyilmaz@aku.edu.tr,
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
- **PROF. DR. ÖMER MUTLUOĞLU,**
omutluoglu@ktu.edu.tr,
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. FERRUH YILMAZTÜRK,**
yilmazturk@aksaray.edu.tr,
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

Türkiye LİDAR Dergisi Dil Editörleri

PROF. DR. CENGİZ ALYILMAZ,

calyilmaz@uludag.edu.tr,

Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü

DOÇ. DR. SAVAŞ ŞAHİN,

savassahin@akdeniz.edu.tr,

Akdeniz Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü

Dergi Teknik Sorumlusu

Arş. Gör. Mehmet Özgür Çelik

mozgurcelik@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü /Mersin

Arş. Gör. Abdurahman Yasin Yiğit

ayasinyigit@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü /Mersin

Mizanpaj

Arş. Gör. Yunus Kaya

yunuskaya@harran.edu.tr

Harran Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü /Şanlıurfa

Arş. Gör. Aydın Alptekin

aydinalptekin@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü /Mersin

İçindekiler

Contents

Araştırma Makaleleri;

Research Articles;

S. No	Makale Adı (Tr./Eng.) ve Yazar Adı Article Name (Eng./Tr.) and Author Name
23-33	<i>Kentsel Yeşil Alan Kalitesinin LiDAR Nokta Bulutu Verileri Kullanılarak Haritalanması</i> <i>(Mapping the Spatial Quality of Urban Green Spaces Using LiDAR Data)</i> Derya GÜLÇİN
34- 40	<i>Comparative Accuracy Analysis of Lidar Systems</i> <i>(Lidar Sistemlerinin Karşılaştırmalı Doğruluk Analizi)</i> Ramazan Alper KUÇAK, Serdar EROL & Mehmet İŞİLER
41-47	<i>Hybrid Modeling of Adamkayalar Reliefs</i> İldeniz Leyla ÖZTÜRK, Mehmet Özgür ÇELİK & Erkan BAYGÜL
48- 54	<i>Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i> <i>photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS)</i> Binnaz SARI, Seda Nur Gamze HAMAL & Ali ULVİ
55-63	<i>Mobil LiDAR Nokta Bulutlarından Enerji Nakil Hatlarının Doğrusal Olmayan</i> <i>Modellerle Kestirimi</i> <i>(Prediction of Power Transmission Lines from Mobile LiDAR Point Clouds with</i> <i>Nonlinear Models)</i> Mustafa ZEYBEK



Turkish Journal of LIDAR
Türkiye Lidar Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Kentsel Yeşil Alan Kalitesinin LiDAR Nokta Bulutu Verileri Kullanılarak Haritalanması

Derya Gülçin^{1,2} 

¹ British Columbia University, Forestry Faculty, Department of Forest Resources Management, Urban Forestry Research in Action, BC V6T 1Z4, Vancouver, Kanada

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Aydın, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kentsel Peyzaj
LiDAR
Uzaktan Algılama
Kentsel Vegetasyon İndeksi
Kentsel Ormanlık

ÖZ

Yapı yoğunluğu ve vejetasyon karakteristiklerini dikkate alan kentsel peyzaj çalışmalarında, üç boyutlu veri kullanılarak yeşil alanların mekânsal bağlantılığın kentsel yeşil alan kalitesi ile nasıl bütünleştirileceği konusunda yapılmış çalışma oldukça sınırlıdır. Bu araştırma, son on yılda yapılaşma hızının yüksek olduğu bir kampüs alanı ve yakın çevresinde yürütülmüştür. Araştırmanın temel amacı, kentsel yeşil alanların mekânsal dağılımını, bağlantılılık konsepti çerçevesinde analiz etmek ve yaşam kalitesi ile ilişkilendirmektir. Araştırma kapsamında, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri kullanılarak hem yapı hem de vejetasyon karakteristikleri dikkate alınmış, nokta başına düşen hacim hesaplamaları yapılmış ve kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritası oluşturulmuştur. Mekânsal bağlantılılığı sağlayan habitat ünitelerinden merkez ve koridorlar morfolojik mekânsal patern analizi ile belirlenerek KVI ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç haritası, kampüs alanındaki yeşil alanların yakın çevresindeki doğal alanlarla bir bütün olarak ele alınıp tasarlandığını göstermektedir. Araştırma alanındaki yeşil alanların %60,1'inin çok yüksek; %10,39'unun yüksek, %12,22'sinin orta, %7,16'sının düşük, %9,29'unu çok düşük kalitede olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir kalite değerine sahip olmayan yeşil alanlar ise, araştırma alanının %0,83'ünü oluşturmaktadır. Buna ek olarak, hızlı yapılaşmaya karşın kentsel yeşil alanların araştırma alanında göreceli olarak dengeli dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın özgün yönü, LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak kentsel yeşil alanların kalitesinin nasıl haritaya aktarılabilirliğini gösteren bir yöntem akışı sunmasıdır.

Mapping the Spatial Quality of Urban Green Spaces Using LiDAR Data

Keywords

Urban landscape
LiDAR
Remote Sensing
Urban Vegetation Index
Urban Forestry

ABSTRACT

Studies on how to map the spatial connectivity of urban green spaces using three-dimensional data that take into account life quality and vegetation characteristics are limited. This research was carried out on a campus and its environs where the construction rate of new buildings was high in the last decade. The main purpose of the research was to map the spatial quality of urban green spaces associated with the ecological connectivity. Within the scope of the research, both building density and vegetation characteristics were taken into consideration by using LiDAR (*Light Detection and Ranging*) data, the volumes of buildings and vegetation types were computed, and an Urban Vegetation Index (UVI) map was created. Core and bridge areas that provided spatial connectivity were determined by MSPA (*Morphological Spatial Pattern Analysis*), and they were associated with UVI. The results suggest that the green spaces in the campus area were designed to enhance connectivity with the natural areas surrounding the campus. It was determined that 60.1% of the green spaces in the research area provided very high, 10.39% high, 12.22% medium, 7.16% low, and 9.29% very low quality respectively. Areas that did not provide quality constitute 0.83% of the research area. In addition, despite the rapid construction, it has been observed that the urban green spaces were relatively evenly distributed in the research area. The novelty of this study is to present a methodological approach to mapping the spatial connectivity of urban green spaces using LiDAR data.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(derya.yazgi@adu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-7118-0174

Cite this article (APA);

Gülçin D (2020). Kentsel Yeşil Alan Kalitesinin LiDAR Nokta Bulutu Verileri Kullanılarak Haritalanması. *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 23-33.

Araştırma Makalesi (Research Article)

Received: 16/09/2020; Accepted: 01/10/2020

1. GİRİŞ

Dünyada kentsel gelişimin yüksek olduğu çoğu kentte özellikle metropolitan alanlarda, kentsel gelişim/değişim, peyzajda çeşitli olumsuz etkilere neden olmuştur (Di Giulio vd., 2009; Nor vd., 2017; Gilani vd., 2020). Değişimin kaçınılmaz sonuçlarından birisi, doğal ve yarı doğal habitatların parçalanarak izole olması ve uzun vadede etkisini gösteren biyoçeşitlilik kaybıdır (Shochat vd., 2010; van Vliet, 2019; Sütüncü, 2020). Biyoçeşitlilik, ekosistem servisleri hiyerarşisinin tüm seviyelerinde önemli bir yere sahiptir (Pelorosso vd., 2016). Bu nedenle peyzajda bağlantılılık ile ilgili ekosistem servisleri, biyolojik çeşitliliğe atıf yapmaktadır (Mace vd., 2012). Son yıllarda, gelişmiş ülkelerin kentsel gelişim politikaları arasında yeşil altyapının planlanmasına yönelik ilgi ve motivasyon yüksektir (Sanesi vd., 2017; Du Toit vd., 2018; Langemeyer vd., 2020). Yeşil altyapı veya mavi-yeşil altyapı, kentsel peyzajlarda iklimsel sorunlara çözüm alternatifleri getiren sürdürülebilir ekosistem temelli bir yaklaşımdır (Alves vd., 2019). Bu yaklaşımın ekolojik ve ekonomik katkılarının (yağmur suyu yönetimi, iklim adaptasyonu, ısı adası etkisinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin artırılması, gıda üretimi, hava kalitesinin artırılması, sürdürülebilir enerji üretimi, temiz su sağlama) yanı sıra çeşitli sosyal katkıları (yaşam kalitesinin artırılması, rekreasyon hizmetlerinin sağlanması gibi) da bulunmaktadır (Foster vd., 2011; Coutts & Hahn, 2015; Hoang & Fenner, 2016; Berland vd., 2017; Anguelovski vd., 2019; De la Sota vd., 2019; Venter vd., 2020). Kentlerde yeşil alanlar, kentsel yeşil altyapının önemli bileşenlerini oluştururlar. Bu bağlamda, yeşil alanların yeşil altyapı ölçütlerine göre tasarlanması, kentleri görsel olarak şekillendirebileceği gibi biyolojik çeşitlilik ve habitat koruma, rekreasyon olanakları sağlama, kentlilerin sosyal ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılama gibi pek çok fayda sağlamaktadır (Haq, 2011). Mekânsal bir bakış açısıyla kentsel yeşil alanlar, kentlerin gelecekteki fiziksel formları ve sürdürülebilir kalkınmasında da önemli rol oynarlar (Mell, 2017). Önceki çalışmalar, kentsel yeşil alanların parçalanmasının kentsel ekosistemlerin sağlığını azalttığını belirtmiştir (Li vd., 2015). Ekosistem fonksiyonlarının daha iyi çalışmasına destek olmak ve kentsel biyoçeşitliliği sürdürülebilir bir şekilde korumak için mekânsal planlamanın ortak vurgusu, kapsamlı bir kentsel yeşil alan ağı oluşturmaktır (Kong vd., 2010; Hepcan, 2013; Hermoso vd., 2020).

Peyzaj strüktüründe bağlantı, tür-peyzaj arasındaki etkileşimi sağlayarak ekolojik ağın temel özelliğini oluşturur. Kentsel yeşil alan ağında bağlantılılığı oluşturan temel unsurlar; yeşil yol, yeşil yolların oluşturduğu koridorlar ve yeşil kuşaklardır (Amati & Taylor, 2010). Genel olarak, kentsel peyzajlarda yeşil alanların oluşturduğu bağlantı şu üç şekilde ifade edilebilir (Ioja vd., 2014): 1) yeşil yamalar arasında bireysel organizmaların hareketine ilişkin verileri dâhil etmeden, yamaların uzamsal konfigürasyonunun bir endeksini gerektiren yapısal bağlantı; 2) organizmaların dağılıma yeteneği hakkında temel veya dolaylı bilgileri içeren potansiyel bağlantı; 3) organizmaların yeşil

yamalar arasında gerçek hareketine atıfta bulunan işlevsel veya gerçek bağlantı. Bir diğer ifadeyle yapısal bağlantı, peyzaj bileşenlerinin mekânsal dağılımına ve bileşimlerine dayalı olarak habitatları potansiyel olarak birbirine bağlayan peyzaj unsurlarını ifade ederken, fonksiyonel bağlantı biyotik süreçleri (göç, yayılma, gen akışı vb.) ifade eder (LaPoint vd., 2015). Yapısal bağlantıyı etkileyen dış faktörler olabilir, ancak kentsel alanın boyutu, bağlantıdaki değişimin büyüklüğünü ve yönünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Bierwagen, 2007; Hepcan, 2013). Kentsel yeşil alan ağının ekolojik ağlara katkısı, mevcut yeşil alanların korunmasına ve yeşil alan yamaları arasındaki bağlantının düzeyine bağlıdır (Serret vd., 2014).

İlgili literatürde peyzajda bağlantılılık ilkesi, habitat sağlama veya türlere göç etme imkânı verme çerçevesinde temel olarak yeşil alan ağı ile ilişkilendirilmiştir (Li vd., 2015; Eroğlu vd., 2018; Zhang vd., 2019). Çalışmaların önemli bir bölümü, kentsel sınırlara veya yeşil altyapının kırsal unsurlarına odaklanmıştır. Bununla birlikte, kentsel yeşil altyapının alt ölçütleri arasından, “bağlantılılık” ölçütünün en az “çok işlevlilik” ölçütü kadar önemli olduğu vurgulanmıştır (Rusche vd., 2019). Ayrıca sahaya özgü özellikleri kabul eden, tekrar uygulanabilir bağlantılılık çalışmalarına ihtiyaç vardır (Liquete vd., 2015). Bağlantılılık değerlendirmesi, peyzaj analizleri çerçevesinde kullanılan çeşitli peyzaj metrikleri ve bağlantılılık modelleri gibi kantitatif yöntemler doğrultusunda yapılmaktadır (Ioja vd., 2014; Tian vd., 2017; Zhang vd., 2019). Yeşil alan bağlantılılığının belirlenmesinde, çoğunlukla ekolojik planlama yöntemleri (*least-coast* modeli, peyzaj patern metrikleri vb.) kullanılmaktadır. Son yıllarda, Vogt (2016) ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü tarafından geliştirilen GuidosToolbox 2.9 (*Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes*) yazılımı, yeşil alanların matematiksel morfolojiye dayalı mekânsal desen analizlerinde kullanılmaktadır. Morfolojik mekânsal patern analizinin (MSPA) avantajı, yeşil alan bağlantılılığının temelini oluşturan habitat ünitelerini (koridor ve merkez alanları) net olarak tanımlamasıdır.

Yeşil alanlar, ekolojik ağların mekânsal dağılımını ve dinamiklerini anlamak için mekânsal-zamansal veriler ile analiz edilir. Yeşil alanların mekânsal analizlerinde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri sıklıkla kullanılmış, çoklu spektral uydu görüntülerinden elde edilen iki boyutlu veri ölçümleri (normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi gibi) yaygın olarak tercih edilmiştir (Bilgili vd., 2018; Wu vd., 2019). İki boyutlu veri ölçümleri, hem mekânsal hem de hacimsel olarak bitki örtüsündeki heterojenlik nedeniyle kentsel yeşil ağın değerlendirilmesinde sınır oluşturabilir. Örneğin; kentsel yeşil alanların alt bileşenleri (kent parkları, ev bahçeleri vb.) birbirine yakın mesafede olmasına rağmen çok çeşitli bitki türlerini içerebilir. Bu çeşitliliğin iki boyutlu olarak değerlendirilmesi, yeşil alanların dikey dağılımını, yani yamalar arasındaki bağlantının uzaysal dağılımının anlaşılmasına engel olur. Bu nedenle, güncel çalışmalarda yeşil alanların mekânsal dağılımında, uzaktan algılama teknolojisinin ileri seviyedeki araçları

kullanılarak (insansız hava araçları, lazer algılama sistemi vb.) üç boyutlu veri analizleri yapılmaktadır (Alonzo et al., 2014; Casalegno vd., 2017; Pu & Landry, 2020). Bu araçlardan LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri, yeni mekânsal endeksler oluşturulmasında önemli bir girdi olarak kullanılmış, bitki örtüsü veya yapılaşmış alanların hacim bilgilerini dikkate alarak mekânsal özelliklerin kapsamlı olarak analiz edilmesine olanak tanımıştır (Tompalski & Wezyk, 2012; Petras vd., 2017).

Hızlı kentleşme, özellikle kentsel alanlarda başta yeşil alan olmak üzere açık alanların sürekli olarak azalmasına ve parçalanmasına yol açmaktadır. Alan kullanım tiplerinin hızla değiştiği kentlerde, yeşil alan dağılımında yetersizlikler ve eşitsizlere rastlamak mümkündür (Wüstemann vd., 2017; Kronenberg vd., 2020). Bu bağlamda, özellikle yeni yeşil alanlar oluşturmak ve yeşil alan ağını güçlendirecek/devamını sağlayacak bir planlama yaklaşımına ihtiyaç vardır. Yapılaşma seviyesinin yüksek olduğu kentsel peyzajlarda yeşil alanlar arasındaki bağlantı; kent habitatlarının korunması, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir olması ve kentsel ekolojik ağın bütüncül olarak planlanması bakımından önemlidir. Yapı yoğunluğu ve vejetasyon karakteristiklerini dikkate alan kentsel peyzaj çalışmalarında, üç boyutlu veri kullanılarak yeşil alanların mekânsal bağlantılılığının kentsel yeşil alan kalitesi ile nasıl bütünleştirileceği konusunda yapılmış çalışma oldukça sınırlıdır. Bu araştırma, son on yılda yapılaşma hızının yüksek olduğu British Columbia Üniversitesi (UBC) Vancouver ana kampüsü ve yakın çevresinde yürütülmüştür. Araştırmanın temel amacı, kentsel yeşil alanların mekânsal dağılımını, bağlantılılık konsepti çerçevesinde analiz etmek ve yaşam kalitesi ile ilişkilendirmektir. Araştırma kapsamında, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri kullanılarak hem yapı hem de vejetasyon karakteristikleri dikkate alınmış, nokta başına düşen hacim hesaplamaları yapılmış ve kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmanın özgün yönü, LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak kentsel yeşil alanların

kalitesinin nasıl haritaya aktarılabilceğini gösteren bir yöntem akışı sunmasıdır.

2. YÖNTEM

British Columbia Üniversitesi (UBC) Point Grey Kampüsü, üniversitenin ana kampüsüdür. Kampüs Britanya Kolumbiyası eyaleti (Kanada) Point Grey yarımadasında, Vancouver şehrinin en batısında yer almaktadır ve 55.000'e yakın öğrenciye (lisans ve lisansüstü) ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 1).

Yaklaşık 4 km² alan kaplayan kampüs, pek çok sayıda özel konut alanına da bünyesinde bulundurmaktadır. Kampüs, batısında Pacific Spirit Bölge Parkı olarak bilinen ve yaklaşık 0,9 km² alan kaplayan bir kent ormanı çevrilidir. Ayrıca kampüs alanı birbirinden farklı çeşitli yeşil alanlara (park, çocuk parkı, botanik parkı) sahiptir. UBC kampüsünde yapılaşma yoğunluğu, son on yılda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Teslenko (2019) UBC kampüsündeki yoğun yapılaşma nedeniyle, başta kentsel orman alanları olmak üzere yeşil alanlar üzerindeki mekânsal dağılımın izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu nedenle, kampüsteki mevcut bitki örtüsünün yeşil alan bağlantılılığı kapsamında mekânsal dağılımını yaşam kalitesi ile ilişkilendirmek ve analiz etmek önemlidir.

Bu araştırmanın materyalini; kampüs alanında GPS ile işaretlenmiş verisi (300 kent ağacının coğrafi konumu kaydedilmiştir) ve 27-28 Ağustos 2018 tarihlerinde üretilen LiDAR nokta bulutu verileri (m²'de 30 nokta) oluşturmaktadır. Şekil 1'de görüleceği üzere, UBC kampüs alanı ve yakın çevresini kaplayan toplam 14 LiDAR nokta bulutu verisi bulunmaktadır. Her bir LiDAR verisi 1 km x 1 km alan kaplamaktadır. LiDAR verilerinin, dikey ve yatay doğrulukları sırasıyla 0,18 ve 0,36 m'dir (% 95 güven aralığında hesaplanmıştır). Tüm veriler, WGS 84'e göre UTM Zone 10 (*Central Meridian 123 West*) koordinat sisteminde hazırlanmıştır. LiDAR nokta bulutu verileri çıplak alan, düşük bitki örtüsü (yükseklik <2 m), yüksek bitki örtüsü (yükseklik > 2 m), su ve yapı olmak beş grupta sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. Araştırma alanının coğrafi konumu.

Araştırmanın yöntemi; kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritasının oluşturulması, yüksek bitki örtüsünün haritalanması (2 metreden büyük çalı ve ağaç grupları), morfolojik mekânsal patern analizi (MSPA) ve kentsel yeşil alan kalitesinin haritalanması olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmada, KVI'nin hesaplanmasında Tompalski & Wezyk (2012) tarafından önerilen üç boyutlu uzamsal metrikler kullanılmıştır. Bu metrikler, kentsel yeşil alanlar ve yapılar arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak yeşil alan kalitesinin bir ölçütü olarak tanımlanmıştır. LiDAR verilerini voksellere (üç boyutlu veri matrisleri) dönüştürmek, üç boyutlu mekânsal indeksleri hesaplamak ve haritaları üretmek için R istatistik yazılımında tekrar kullanılabilir bir komut dosyası yazılmıştır (R, 2020). Bu kapsamda, R paketlerinden LiDAR verilerini analiz etme kapasitesi çok yüksek olan LidR paketi kullanılmıştır (Roussel vd., 2020). KVI hesaplaması, yapıların ve yüksek bitki örtüsünün (yüksekliği 2 m'den büyük bitkiler) hacimlerini dikkate alır. Araştırma alanındaki her bir yapının hacmi, yapı tabanı ile yapı yüksekliğinin çarpılarak hesaplanmıştır. Yüksek vejetasyon sınıfındaki her bir homojen segmentin hacmi, vokseller kullanılarak belirlenmiştir. KVI, yapı ve yüksek bitki örtüsünün yanı sıra yüksekliği 2 m'den düşük bitki gruplarını da değerlendirir. KVI formülü, hacimsel oranların ağırlıklı toplamını ifade eder. Aşağıdaki ilk formülde; w yüksek bitki örtüsü ve yapıların göreceli alanını, V_{hv} yüksek bitki örtüsü hacmini, V_b yapı hacmini, A_v tüm bitki örtüsünün toplam alanını (yükseklik<2 m ve yükseklik>2m) ve A_b yapıların toplam alanını göstermektedir.

$$UVI_{abs} = w \times \frac{V_{hv}}{v_b} + (1 - w) \times \frac{A_v}{A_b} \quad (1)$$

İkinci formülde; A_{hv} yalnızca yüksek bitki örtüsünün alanını, A_b yapıların toplam alanını ve A_v tüm bitki örtüsünün toplam alanını (yüksekliği 2 m'den düşük ve 2 m'den yüksek) ifade etmektedir.

$$w = \frac{A_{hv} + A_b}{A_v + A_b} \quad (2)$$

Mekânsal metrikler hesaplanmadan önce, hacim hesaplamalarının doğruluğu için sayısal arazi modelinin (*digital terrain model*) oluşturulması gereklidir. Sayısal arazi modeli oluşturulduktan sonra, LiDAR nokta bulutu verileri standardize edilmiştir. Bu işlem, LiDAR nokta bulutunu sayısal arazi modeline göre normalleştirir. Bir başka ifadeyle, sayısal arazi modeli ile noktaların bir araya gelmesini sağlar. Yukarıda sunulan mekânsal indeksler, yalnızca bitki örtüsü ve yapıları dikkate aldığı için bu iki sınıfın veri setinden filtrelenerek ana girdi oluşturacak şekilde çıkartılmıştır. R'da yazılan fonksiyonel kod dizini çalıştırılarak, tüm metrik haritalar 50 m x 50 m yersel çözünürlükte oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, LiDAR verileri havadaki tüm objelerin üç boyutlu uzamsal bilgisini içerdiği için (havadaki toz, uçan kuş, uçak vb.), verilerin %95'inin değerlendirmeye alınması, bir diğer ifadeyle filtrelenmesi gerekir. Bu nedenle, filtrelemede 1,2 hassasiyet değeri kullanılmış ve veri seti %95 persentilde filtrelenmiştir. Veri standardizasyonundan sonra, kanopi yükseklik modeli (KYM) oluşturulmuştur. KYM, medyan filtre uygulanarak düzgünleştirilmiştir ve bitki pozisyonları yerel maksimum filtre (*local maximum filter*) ile hesaplanmıştır. Kentsel alanlardaki yüksek doğruluğundan dolayı bu çalışmada, Dalponte ve Coomes (2016) bireysel ağaç segmentasyon algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak, yüksek bitki örtüsü, vektör veri olarak haritalanmıştır. Bireysel ağaç segmentasyonundan sonra, Plowright (2015) tarafından önerilen yöntemle göre doğruluk

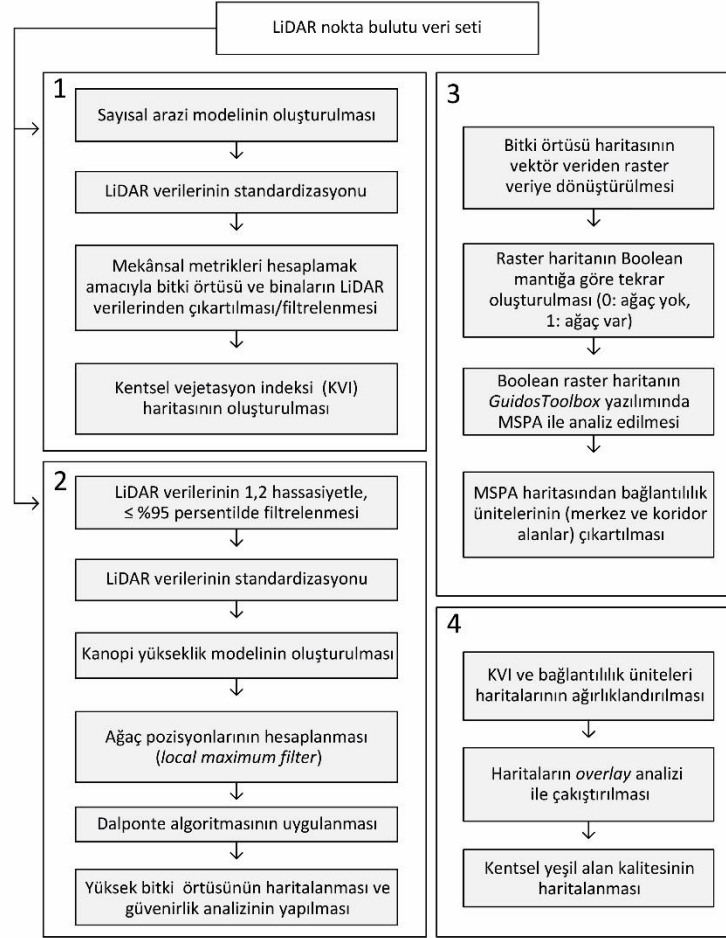
değerlendirmesi yapılmıştır. Omisyon ve komisyon hataları tespit edilerek aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Manning vd., 2008):

$$Re = \frac{MT}{MT + OE'} \quad (3)$$

$$Pr = \frac{MT}{MT + CE'} \quad (4)$$

$$F = 2 \times \frac{Re + Pr}{Re + Pr'} \quad (5)$$

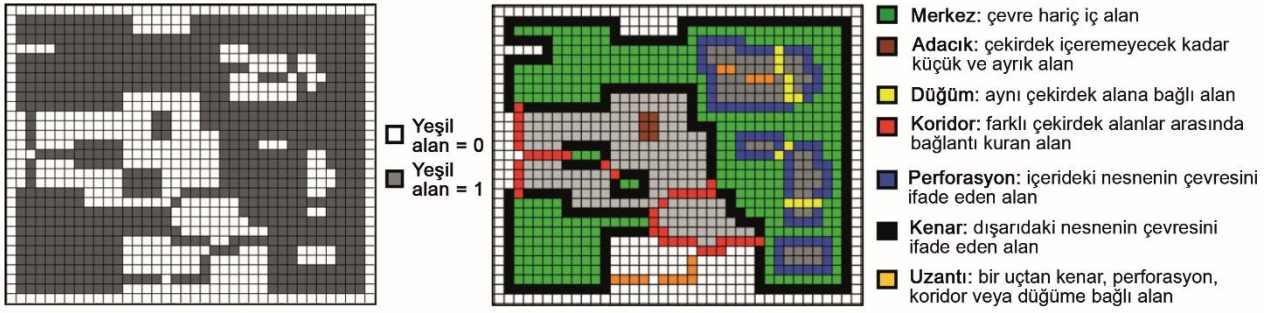
Güvenirlilik analizinde yerden ölçülen 300 ağacın coğrafi konumu kullanılmış ve bu veri LiDAR'dan elde edilen vektör formatındaki bitkilerle ArcMap 10.7'de karşılaştırılmıştır. Çakıştırmanın amacı, omisyon ve komisyon hatalarını belirlemektir. Yukarıdaki formülde MT , LiDAR bitki segmentleri ile eşleşen bitki sayısını (yerden ölçülen); OE , omisyon hatasını; CE , komisyon hatasını; Re , doğruluk değerini; Pr hassasiyet değerini; F , F skor değerini göstermektedir. Re , bitki algılama oranının bir ölçüsüdür; Pr , bitkileri uzaktan algılamanın doğruluğunun bir ölçüsüdür; F ise genel doğruluğun bir ölçüsüdür.



Şekil 2. Araştırmanın yöntem akışı (MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

Yöntemin üçüncü aşamasında, bitki örtüsü vektör verisi, raster veri formatına dönüştürülmüştür. Raster harita, Boolean mantığa göre GuidosToolbox yazılımında kullanılmak üzere tekrar oluşturulmuştur (0: yeşil alan yok, 1: yeşil alan var). Morfolojik mekânsal patern analizi (MSPA), görüntü bileşenlerinin geometrisinin ve bağlantısının açıklamasını hedefleyen özelleştirilmiş bir matematiksel morfolojik operatörler dizisidir. Yalnızca geometrik kavramlara dayanan bu yöntem, herhangi bir uygulama alanında herhangi bir ölçekte ve her tür dijital görüntüye uygulanabilir (Vogt 2016). Şekil 3'de görüldüğü üzere, MSPA sistemi var-yok verisi ile çalışır. Şekilde soldaki ilk görsel, girdi verisini (raster) göstermektedir. MSPA analizinden sonra, yeşil alanları gösteren veri toplamda 7 sınıfa ayrılmıştır: 1) merkez (çevre hariç içeride kalan alanı);

2) adacık (merkez içermeyecek kadar küçük ve ayrıık alan); 3) düğüm (aynı merkez alana bağlı alan), 4) koridor (farklı merkez alanlar arasında bağlantı kuran alan), 5) perforasyon (içerideki nesnenin çevresini ifade eden alan), 6) kenar (dışarıdaki nesnenin çevresini ifade eden alan) ve 7) uzantı (bir uçtan kenar, perforasyon, koridor veya düğüme bağlı alan). Bu sınıflardan koridor ve merkez alanlar, mekânsal bağlantılılığı doğrudan sağladığı için önceki çalışmalar bağlantılılık çalışmalarında yalnızca bu iki sınıfı dikkate almıştır (Velázquez vd., 2017; Ossola vd., 2019). Bu çalışmada üretilen MSPA haritasında kenar genişliği MSPA standart değeri (3 m) kullanılmış, MSPA sınıfları yalnızca bağlantılılık ünitelerini (koridor ve merkez alanlar) gösterecek şekilde tekrar oluşturulmuştur.



Şekil 3. MSPA segmentasyon yöntemi ve MSPA sınıfları (MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

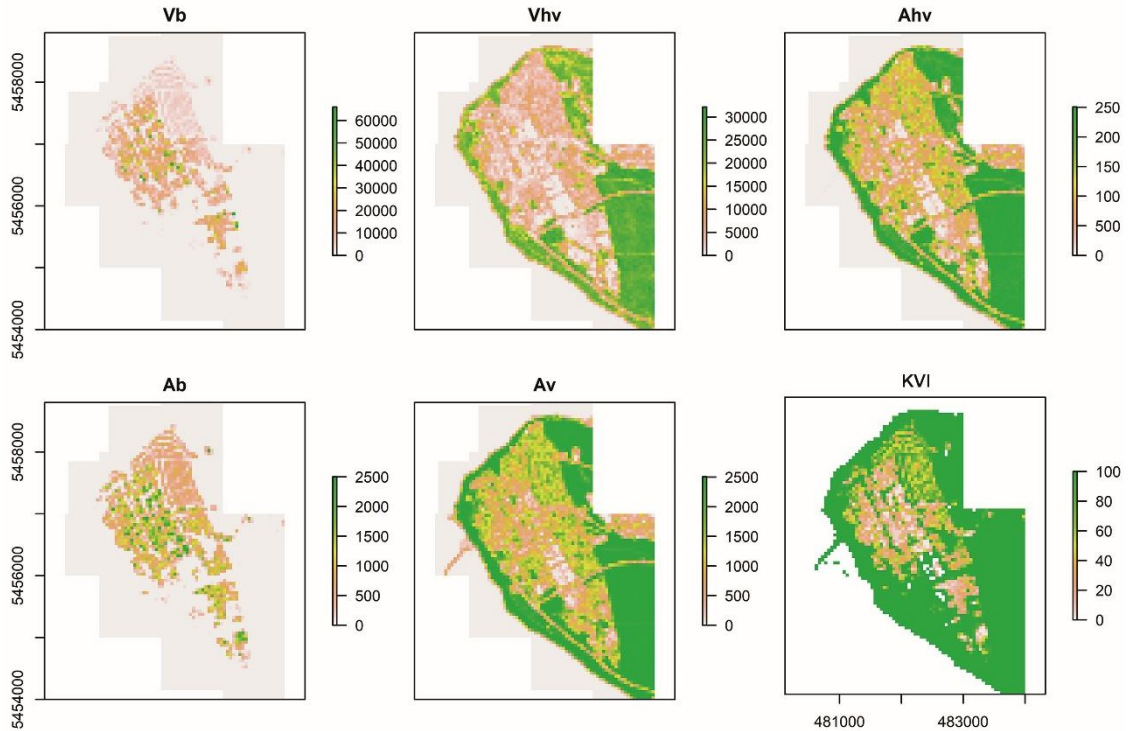
Yöntemin son aşamasında, KVI ve bağlantılılık üniteleri haritaları ağırlıklandırılmıştır. *Overlay* analizinde bağlantılılık ünitelerinin ağırlığı, KVI ağırlığının 2 katı olarak alınmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinde literatür çalışmaları ve yazarın mesleki deneyimlerinden yararlanılmıştır (Marulli & Mallarach, 2006; Dupras vd., 2016). Haritaların çakıştırılması sonucunda kentsel yeşil alan kalitesi haritalanmıştır.

3. BULGULAR

Bu araştırma, üç boyutlu mekânsal metrikleri iki boyutlu bağlantılılık sınıfları ile ilişkilendirerek, kentsel yeşil alanların mekânsal bağlantılılığını haritalamak amacıyla bir dizi matematiksel yöntem uygulamıştır. Kentsel yeşil alan kalitesinin (KVI) hesaplanmasını sağlayan ve LiDAR nokta bulutu verilerinden elde edilen

mekânsal metrik haritaları Şekil 4’de sunulmuştur. Hacim ve alan değerlerindeki varyasyon, araştırma alanı boyunca çeşitlilik göstermektedir. KVI haritası incelendiğinde, kampüs alanının etrafındaki indeks değerinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. KVI indeks değeri, yapılaşma arttıkça azalmaktadır. Yeşil alanların mevcut olmadığı alanlarda indeks değeri hesaplanmadığı için kampüs alanının güneyinde belirli bölgelerde herhangi bir değere rastlanmamıştır.

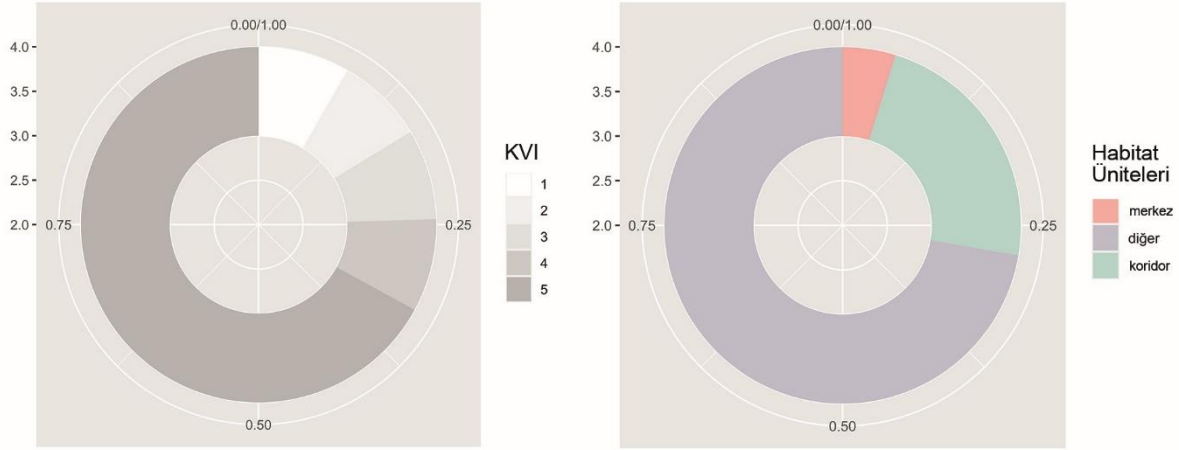
Dalponte bireysel ağaç segmentasyon algoritması sonucunda üretilen vektör bitki verisi, yerden ölçülen veri ile çakıştırıldığında toplam 227 ağacın birebir eşleştiği gözlemlenmiştir. Toplam 56 omisyon hatası, 39 komisyon hatası belirlenmiştir. *Re* değeri 0,8; *Pr* değeri 0,85; *F-Score* değeri ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. LiDAR nokta bulutu verilerinden elde edilen mekânsal metrik haritaları (Vb: yapı hacmi, Vhv yüksek bitki örtüsü hacmi, Ahv: yüksek bitki örtüsünün alanı, Ab: yapıların toplam alanı, Av: tüm bitki örtüsünün toplam alanını [yüksekliği 2 m’den düşük ve 2 m’den yüksek], KVI: kentsel yeşil alan indeksi).

KVI haritasındaki değerler, düşük değerden en yüksek değere göre 1'den 5'e kadar sınıflandırıldığında; 1. sınıftaki (en düşük) değerlerin araştırma alanının % 8,31'ini, 2. sınıftaki (düşük) değerlerin araştırma alanının % 7,96'sını, 3. sınıftaki (orta) değerlerin araştırma alanının %8,23'ünü, 4. sınıftaki (yüksek)

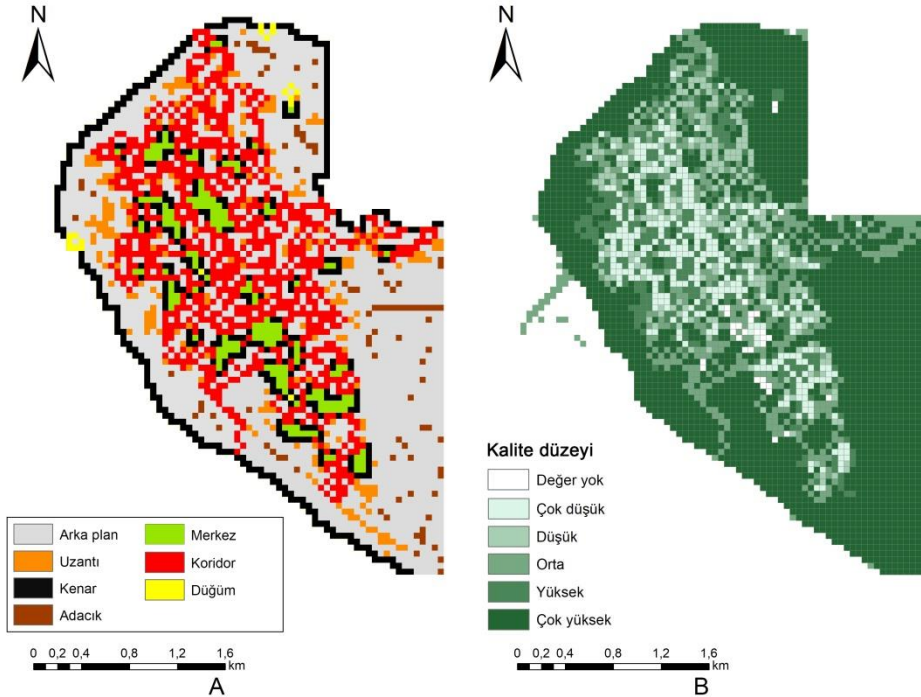
değerlerin araştırma alanının % 8,44'ünü ve 5. sınıftaki değerlerin (en yüksek) araştırma alanının % 67,06'sını oluşturduğu belirlenmiştir. Habitat üniteleri arasından merkez alanlar, alanın % 4,79'unu oluştururken koridorlar % 22,9'unu oluşturmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. KVI ve MSPA ünitelerinin (sınıflarının) oransal dağılımı (KVI: kentsel yejetasyon indeksi, MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

Araştırma alanındaki yeşil alanların %60,1'inin çok yüksek; %10,39'unun yüksek, %12,22'sinin orta, %7,16'sının düşük, %9,29'unu çok düşük bağlantı sağladığı belirlenmiştir. Bağlantılılık sağlamayan alanlar ise, araştırma alanının %0,83'ünü oluşturmaktadır.

Kampüs alanı boyunca değerler heterojen olarak dağılmaktadır. Buna ek olarak, hızlı yapılaşmaya karşın kentsel yeşil alanların araştırma alanında göreceli olarak dengeli dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. A) Morfolojik mekânsal patern sınıfları haritası, B) Kentsel yeşil alan kalitesi haritası.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Genel olarak, kentsel yeşil alanların yapısı heterojendir/karmaşıktır ve bu karmaşıklık çoğunlukla iki boyutlu olarak incelenmiştir. Dolayısıyla kentsel hacimde, yeşil alanların dikey yapısı ihmal edilmiştir. İki

boyutta incelenen kentsel yeşil alan dağılımı, yeşil alanların hacimsel olarak tekdüze dağılmış olduğu varsaymaktadır. Örneğin; normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi bitki örtüsünü var-yok verisi olarak haritalanmasına izin verir, ancak bir veya daha fazla katmanın çıkışabileceği kentsel alanlarda dikey dağılım

hakkında hiçbir bilgi vermez (Casalegno vd., 2017). Bu nedenle, yeşil alanların mekânsal bağlantılılığını ve kalitesini değerlendirirken üç boyutlu veri kullanmak ve bu veriyi habitat üniteleri ile ilişkilendirmek önemlidir.

LiDAR nokta bulutu verileri, hangi bireysel ağaç segmentasyon algoritması ile analiz edilirse edilsin, kentsel vejetasyonu % 100 doğrulukla haritalamak mümkün değildir. Bunun nedeni, LiDAR verileri oluşturulurken, noktaların yüzeye çarptıktan sonra farklı titreşimde yansımadır. Dolayısıyla, veri analiz edilirken seçilen herhangi bir segmentasyon algoritmasının gerçekte bitki olmayan bir yerde bitki varmış gibi davranma ya da aksine gerçekte bitki mevcut değilken nokta dağılımındaki hatadan ötürü bitki yokmuş gibi davranma ihtimali vardır. Bu araştırmanın amacı, segmentasyonu iyileştirmek ya da yeni bir segmentasyon algoritması üretmek olmadığı için, %80'in üzerindeki segmentasyon doğruluğu güvenilir bulunmuştur. Ancak, segmentasyondaki doğruluk yine de araştırmanın bir sınırıdır. Araştırmanın ikinci sınırı, ekolojik bağlantılılık modellerinden farklı olarak bariyerler üzerine odaklanılmamış olmasıdır. Kentsel ortamda bariyer olarak tasarlanmış yapı, yol, geçirimsiz yüzey vb. alanlar, mevcut yeşil alanlara tamamen bağlantı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bu alanlar bitkilerin yerden ölçümü sırasında yerinde incelenmiş ve özellikle kentsel bitki örtüsü elemanlarının sık ve ritmik aralıklarla dikildiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, yolların yeşil konseptine uygun olarak tasarlanmış olması ve geçirimsiz yüzeylerde, ızgara sistemindeki bitkisel tasarıma geniş yer verildiği için, yapılar dışındaki bariyer alanlar göz ardı edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar, alana özgü olarak bariyer alanlarla ilgili tamamen farklı bir yöntem izleyebilir ya da benzer yaklaşımı devam ettirebilir.

LiDAR nokta bulutu verilerini kullanarak yapılan ekolojik bağlantılılık temelli çalışmalar, üç boyutlu verinin tek başına kullanılmasının yanı sıra iki boyutlu veriler ile entegre edilmesini önermiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada kentsel vejetasyon indeksi, yeşil alanların üç boyutlu dağılımını yapıları dikkate alarak haritalarken, habitat üniteleri bağlantının en yüksek nerede olabileceği konusunda bir tahmin yapmıştır. Bu iki farklı altlık haritanın, *overlay* analizi ile karşılaştırılmasındaki temel tartışma, iki boyutlu verinin sağladığı altlık haritayı, üç boyutlu yeşil alan dağılımı ile desteklemektir. Bu çalışmada sunulan yöntem, farklı yapısal bağlantılılık modelleri ile karşılaştırılabilir ve önyargı (*bias*) olup olmadığı test edilebilir. Sonuç olarak, sunulan yaklaşım yazarın mesleki tecrübesi ve literatür çalışmasına dayalı olarak oluşturulmuştur. Bundan sonraki araştırmalar, Delphi tekniği ya da analitik hiyerarşi süreci gibi farklı yöntemlerden yararlanarak, özellikle veri altlıklarının ağırlıklandırılmasında daha objektif yaklaşımlar benimseyebilir.

Araştırma alanında yapılaşma yoğunluğu yüksek olmasına karşın, mekânsal bağlantılık sağlayan alanların oransal olarak yüksek olması mevcut habitat varlığının korunması ve ekosistem servislerinin sürdürülebilir olması bakımından değerlidir. Kampüs alanının, yeşil kuşak ile çevrenmesi, kampüs ve doğal alanlar arasındaki tür-peyzaj etkileşiminin yüksek seviyede

olabileceğine işaret etmektedir. Yeşil alanlar arasında bağlantılılık sağlamayan ya da bağlantılılığı düşük olan alanların görece olarak az olması, kampüsün yoğun yapılaşma faaliyetlerine karşın yeşil alanların sürdürülebilirliğine ne kadar önem verdiğini net bir şekilde göstermektedir.

Kentsel peyzajlarda yeşil alanlar; ekolojik, sosyal ve ekonomik katkılar sağlamaktadır. Yapılan araştırmaların çoğu, yeşil alanların kentsel peyzaj planlama ölçeğinde dikey özelliklerinden ziyade bitki örtüsünün genel ayak izi veya mekânsal kapsamı ile ilgilenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada sunulan yöntemler kentsel yeşil alanların mekânsal bağlantılılığının haritalanması amacıyla bundan sonraki çalışmalarda referans olarak kullanılabilir.

Bu araştırma, LiDAR nokta bulutu verilerinin potansiyelini kullanmış ve hesaplanan metrikler, kentsel yeşil alan kalitesini haritalamaya yönelik güçlü bir araç olarak değerlendirmiştir. LiDAR nokta bulutu verilerinin nokta yoğunluğunun çok yüksek olması, yapı ve yeşil alanların kübik hacmini net olarak hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Saha verileri ve yerden ölçülen bitkilerin coğrafi konumları araştırmanın güvenilirliğini anlamaya yardımcı olmuştur. British Columbia Üniversitesi (UBC) Vancouver merkez kampüsü ve yakın çevresinde yürütülen bu çalışmada kullanılan teknikler; kapsamlı planlama, yeşil alanları izleme ve değerlendirme, genel çevresel iyileştirme amacıyla herhangi bir kent alanı bütününe kapsayacak şekilde uygulanabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan üç boyutlu mekânsal metrikler, kentsel peyzajlarda yeşil alanlar ve yapılar arasındaki ilişkileri tanımlamak için tasarlanmıştır. Metrikler, yazarın görüşüne göre, kentsel yeşil alanların mekânsal kalitesinin değerlendirilmesi için uygundur. Bu değerlendirme, habitat üniteleri ile ilişkilendirildiği takdirde kentsel yeşil alanların bağlantılılık değerlendirmesi daha kapsamlı yapılabilir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu araştırma, TÜBİTAK 2219-Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a vermiş olduğu destek için çok teşekkür ederim. GidosToolbox yazılımının geliştiricisi Dr. Peter Vogt'a yeşil alanların mekânsal dağılımı ve bağlantılılığı hakkında verdiği teknik destekten dolayı teşekkür ederim. UBC Kampüs Planlama Komitesi'ne, araştırma alanındaki yapı bilgisini sağladığı için teşekkürler.

KAYNAKÇA

Alonzo M, Bookhagen B & Roberts, D A (2014). Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148, 70-83.

Alves A, Gersonius B, Kapelan Z, Vojinovic Z & Sanchez A (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk

- management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244-254.
- Amati M & Taylor L (2010). From green belts to green infrastructure. *Planning Practice & Research*, 25 (2), 143-155.
- Anguelovski I, Irazábal-Zurita C & Connolly J J (2019). Grabbed urban landscapes: Socio-spatial tensions in green infrastructure planning in Medellín. *International Journal of Urban and Regional Research*, 43 (1), 133-156.
- Berland A, Shiflett S A, Shuster W D, Garmestani A S, Goddard H C, Herrmann D L & Hopton M E (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning*, 162, 167-177.
- Bierwagen B G (2007). Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size, and dispersal. *Urban Ecosystems*, 10 (1), 29-42.
- Bilgili B C, Gökyer E, Özyavuz M & Çorbacı Ö L (2018). Peyzaj Tasarımında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımının Değerlendirilmesi: Çankırı Karatekin Üniversitesi Yerleşkesi Örneği. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 14, 1-17.
- Casalegno S, Anderson K, Cox D T, Hancock S & Gaston K J (2017). Ecological connectivity in the three-dimensional urban green volume using waveform airborne lidar. *Scientific Reports*, 7, 45571.
- Coutts C & Hahn M (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (8), 9768-9798.
- Dalponte M & Coomes D A (2016). Tree-centric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data. *Methods in ecology and evolution*, 7 (10), 1236-1245.
- De la Sota, C, Ruffato-Ferreira V J, Ruiz-García L & Alvarez S (2019). Urban green infrastructure as a strategy of climate change mitigation. A case study in northern Spain. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 145-151.
- Di Giulio M, Holderegger R & Tobias S (2009). Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in densely populated landscapes. *Journal of environmental management*, 90 (10), 2959-2968.
- Du Toit M J, Cilliers S S, Dallimer M, Goddard M, Guenat S & Cornelius S F (2018). Urban green infrastructure and ecosystem services in sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning*, 180, 249-261.
- Dupras J, Marull J, Parcerisas L, Coll F, Gonzalez A, Girard M & Tello E (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, 58, 61-73.
- Eroğlu E, Kaya S, Doğan T G, Meral A, Demirci S, Başaran N & Çorbacı Ö L (2018). Determination of the Visual Preferences of Different Habitat Types. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 4889-4899.
- Foster J, Lowe A & Winkelmann S (2011). The value of green infrastructure for urban climate adaptation. *Center for Clean Air Policy*, 750 (1), 1-52.
- Gilani H, Ahmad S, Qazi W A, Abubakar S M & Khalid M (2020). Monitoring of Urban Landscape Ecology Dynamics of Islamabad Capital Territory (ICT), Pakistan, Over Four Decades (1976–2016). *Land*, 9 (4), 123.
- Haq S M A (2011). Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. *Journal of Environmental Protection*, 2 (5), 601.
- Hepcan Ş (2013). Analyzing the pattern and connectivity of urban green spaces: A case study of Izmir, Turkey. *Urban Ecosystems*, 16 (2), 279-293.
- Hermoso V, Morán-Ordóñez, A, Lanzas M & Brotons L (2020). Designing a network of green infrastructure for the EU. *Landscape and Urban Planning*, 196, 103732.
- Hoang L & Fenner R A (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, 13 (7), 739-758.
- Iojă C I, Grădinaru S R, Onose D A, Vânău G O & Tudor A C (2014). The potential of school green areas to improve urban green connectivity and multifunctionality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (4), 704-713.
- Kong F, Yin H, Nakagoshi N & Zong Y (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, 95 (1-2), 16-27.
- Kronenberg J, Haase A, Łaskiewicz E, Antal A, Baravikova A, Biernacka M & Khmara Y (2020). Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in postsocialist cities. *Cities*, 106, 102862.
- Langemeyer J, Wedgwood D, McPhearson T, Baró F, Madsen A L & Barton D N (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed—A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of the Total Environment*, 707, 135487.

- LaPoint S, Balkenhol N, Hale J, Sadler J & van der Ree R (2015). Ecological connectivity research in urban areas. *Functional Ecology*, 29 (7), 868-878.
- Li H, Chen W & He W (2015). Planning of green space ecological network in urban areas: an example of Nanchang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (10), 12889-12904.
- Liquete C, Kleeschulte S, Dige G, Maes J, Grizzetti B, Olah B & Zulian G (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science & Policy*, 54, 268-280.
- Mace G M, Norris K & Fitter A H (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27 (1), 19-26.
- Manning C D, Raghavan P & Schutze H (2008). Introduction to information retrieval. Cambridge University Press: Cambridge.
- Marulli J & Mallarach J M (2005). A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 71 (2-4), 243-262.
- Mell I C (2017). Green infrastructure: reflections on past, present and future praxis.
- Nor A N M, Corstanje R, Harris J A & Brewer T (2017). Impact of rapid urban expansion on green space structure. *Ecological Indicators*, 81, 274-284.
- Ossola A, Locke D, Lin B & Minor E (2019). Yards increase forest connectivity in urban landscapes. *Landscape Ecology*, 34(12), 2935-2948.
- Pelorusso R, Gobattoni F, Geri F, Monaco R & Leone A (2016). Evaluation of Ecosystem Services related to Bio-Energy Landscape Connectivity (BELC) for land use decision making across different planning scales. *Ecological Indicators*, 61, 114-129.
- Petras V, Newcomb D J & Mitasova H (2017). Generalized 3D fragmentation index derived from lidar point clouds. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2 (1), 1-14.
- Plowright A (2015). Extracting trees in an urban environment using airborne LiDAR. GSS cIRcle Open Scholar Award (UBCV Non-Thesis Graduate Work).
- Pu R & Landry S (2020). Mapping urban tree species by integrating multi-seasonal high resolution pléiades satellite imagery with airborne LiDAR data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126675.
- R (2020). R: A language and environment for statistical computing, 2020. <https://www.R-project.org>. (02 Ocak 2020).
- Roussel J R, Auty D De Boissieu F & Meador A S 2020. lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry applications. R package version 3.0.3.
- Rusche K, Reimer M & Stichmann R (2019). Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions. *Sustainability*, 11(6), 1819.
- Sanesi G, Colangelo G, Laforteza R, Calvo E & Davies C (2017). Urban green infrastructure and urban forests: A case study of the Metropolitan Area of Milan. *Landscape Research*, 42 (2), 164-175.
- Serret H, Raymond R, Foltête J C, Clergeau P, Simon L & Machon N (2014). Potential contributions of green spaces at business sites to the ecological network in an urban agglomeration: The case of the Ile-de-France region, France. *Landscape and Urban Planning*, 131, 27-35.
- Shochat E, Lerman S B, Anderies J M, Warren P S, Faeth S H & Nilon C H (2010). Invasion, competition, and biodiversity loss in urban ecosystems. *BioScience*, 60 (3), 199-208.
- Sütüncü H S (2020). Effects of landscape fragmentation on endemic plant species of Siirt. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 22 (2), 422-435.
- Teslenko T (2019). Engaging Students and Campus Community in Sustainability Activities in a Major Canadian University. In Sustainability on University Campuses: Learning, Skills Building and Best Practices. *Springer*, 3-20
- Tian Y, Liu Y, Jim C Y & Song H (2017). Assessing structural connectivity of urban green spaces in metropolitan Hong Kong. *Sustainability*, 9 (9), 1653.
- Tompalski P & Wezyk P (2012). LiDAR and VHRS data for assessing living quality in cities-an approach based on 3D spatial indices. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, B6.
- Van Vliet J (2019). Direct and indirect loss of natural area from urban expansion. *Nature Sustainability*, 2 (8), 755-763.
- Velázquez J, Gutiérrez J, Hernando A & García-Abril A (2017). Evaluating landscape connectivity in fragmented habitats: Cantabrian capercaillie (*Tetrao urogallus cantabricus*) in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 389, 59-67.
- Venter Z S, Krog N H & Barton D N (2020). Linking green infrastructure to urban heat and human health risk

mitigation in Oslo, Norway. *Science of the Total Environment*, 709, 10.

Vogt P (2016). GuidosToolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes). Digital image analysis software collection.

Wu Z, Chen R, Meadows M E, Sengupta D & Xu D (2019). Changing urban green spaces in Shanghai: trends, drivers and policy implications. *Land Use Policy*, 87, 104080.

Wüstemann H, Kalisch D & Kolbe J (2017). Access to urban green space and environmental inequalities in Germany. *Landscape and Urban Planning*, 164, 124-131.

Zhang Z, Meerow S, Newell J P & Lindquist M (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 305-317.



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Comparative Accuracy Analysis of Lidar Systems

Ramazan Alper KUÇAK*¹, Serdar EROL¹, Mehmet İŞİLER¹

¹ Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Geomatics Engineering Department, İstanbul, Turkey

Keywords

Lidar
 MLS
 TLS
 Point Cloud
 Accuracy

ABSTRACT

The use of high-precision and sufficiently collected point clouds for 3D data modeling is very important for geomatics and other branches of engineering (such as mechanical and construction), and architectural applications. For this reason, various filtering and interpolation methods are improved for 3D modeling. However, if the point cloud is collected inaccurate or missing, the 3D data modeling is always an issue. Therefore, before the 3D modeling process, the point positioning accuracy and resolution of the point cloud should be investigated. For this purpose, accuracy assessment can be performed by comparing with data obtained from a measurement system that is considered to be more accurate. This comparison is used for the accuracy assessment of the maps produced by different Lidar (Light Detection and Ranging) point clouds. In this study, the accuracy of the point clouds obtained using Terrestrial Lidar Systems (TLS) and Mobile Lidar Systems (MLS) were determined. The reference measurements were obtained by Total Station (TS) surveys. Yılmaz Akdoruk Student Dormitory located in Ayazaga Campus of Istanbul Technical University was selected as a test-area in order to evaluate the TLS and MLS performance for applications in urban areas. The results showed that the accuracy of the TLS system was better than the MLS system. In addition, while TLS should be preferred in studies requiring high accuracy, such as 3D cultural heritage documentation, MLS may be preferred in applications such as various topographic maps and 3D city models.

Lidar Sistemlerinin Karşılaştırmalı Doğruluk Analizi

Anahtar Kelimeler

Lidar
 MLS
 YLS
 Nokta Bulutu
 Doğruluk

ÖZ

3B veri modellemesi için yüksek hassasiyetli ve yeterli miktardaki nokta bulutlarının kullanılması, Geomatik ve diğer mühendislik dalları (makine ve inşaat gibi) ve mimari uygulamalar için çok önemlidir. Bu nedenle, 3B modelleme için çeşitli filtreleme ve enterpolasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunun yanında, nokta bulutunun yanlış veya eksik elde edilmesi, 3B veri modelleme için her zaman bir sorundur. Bu amaçla, 3 boyutlu modelleme işlemine geçmeden önce nokta bulutunun çözünürlüğü ve nokta konumlandırma doğruluğu araştırılmalıdır. Bu amaçla, doğruluk değerlendirmesi, daha doğru olduğu düşünülen bir ölçüm sisteminden elde edilen veriler ile karşılaştırılma yapılarak gerçekleştirilebilir. Bu şekilde bir karşılaştırma, farklı Lidar (Light Detection and Ranging) nokta bulutlarından üretilen ölçülerin doğruluk değerlendirmesinde kullanılır. Bu çalışmada, Yersel Lidar Sistemleri (YLS) ve Mobil Lidar Sistemleri (MLS) kullanılarak elde edilen nokta bulutlarının doğruluğu belirlenmiştir. Referans ölçümler Total Station (TS) ile elde edilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesinde bulunan Yılmaz Akdoruk Öğrenci Yurdu, kentsel alanlardaki 3D model uygulamalarında YLS ve MLS performansını değerlendirmek amacıyla test alanı olarak seçilmiştir. Sonuçlar, TLS sisteminin doğruluğunun MLS sisteminden daha iyi olduğunu göstermiştir. Buna bağlı olarak 3 boyutlu kültürel miras dokümantasyonu gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda YLS tercih edilirken, çeşitli topoğrafik haritalar ve 3 boyutlu şehir modelleri gibi uygulamalarda MLS tercih edilebilir.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Cite this article (APA);

*kucak15@itu.edu.tr ORCID ID 0000-0002-1128-1552
 (erol@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7100-8267
 (isiler@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-0543-0029

Kucak R A, Erol S & İşiler M (2020). Comparative Accuracy Analysis of Lidar Systems, *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 34-40.

1. INTRODUCTION

LIDAR (Light Detection and Ranging) is a measurement technique that allows the collection of large amounts of 3D data in a short time, from airborne, or terrestrial. LIDAR systems create a point cloud with density values in the 3D coordinate system and also RGB values of the point cloud are usually provided by internal or external digital cameras of the system (Kuçak et al., 2016; Kuçak et al., 2017).

MLS and TLS systems are widely used in 3D modeling studies thanks to their fast and accurate point cloud generation (Kuçak et al., 2020). MLS can obtain accurate 3D data faster over a wider area according to TLS (Rodríguez-González et al., 2017). However, TLS has more accurate point positioning capability compared to Airborne Lidar System (ALS) and MLS Systems (Fowler & Kadatskiy, 2011). For both methods, it is necessary to provide suitable conditions to obtain accurate 3D data in large areas. For example, the scanning strips must be registered correctly in TLS. In MLS, the forward and backward measurements must be carried out under the appropriate GNSS conditions for the accurate registration. Shortly, it is very important to obtain high accuracy and sufficient point cloud data in 3D modeling. If the accuracy and resolution of the point clouds are sufficient for the desired purposes, the registration or modeling stages of the point clouds can be performed. However, if the accuracy and resolution of the current point cloud are not sufficient, it should be registered with a more accurate point cloud using georeferencing or registration methods.

Mobile LIDAR systems (MLSs) are the integrated systems which are mounted on a moving vehicle such as cars, trains, boats etc. (Toschi et al., 2015). MLS is a widely used method to get rapid and detailed point cloud acquisition in various applications such as cultural heritage, GIS (Geography Information System), geodetic applications, and spatial decision support systems (Rusu, Marton et al., 2008) or 3D city modeling (Chen et al., 2018) and also rail and road deformation analysis systems (Wang et al., 2019). MLS consists of laser scanners, cameras, as well as IMU (Inertial Measurement Unit) and GNSS (Global Navigation Satellite System) systems. All of these systems work together to generate the point cloud in three-dimensional (3D) coordinate system. In this system, the reflected laser measurement from the surrounding objects are continually obtained by LiDAR while the vehicle is moving. At the same time, The GNSS and IMU systems determine the absolute position of the laser measurement for geo-referencing (Jing, et al., 2020).

The LIDAR systems having multiple laser scanners may suffer from noise and other error sources such as inertial drift, rigid platform calibration, GNSS errors, etc. The measurements with multiple scanners in Mobile Mapping Systems (MMS) require calibration in order to overcome the disadvantages by high noise rates and errors as well as the overlapping problem in strips. After the calibration steps, CCD Cameras and Laser scanners can become ready to use. However, the calibration may not be sufficient to eliminate all errors and provides an inappropriate point clouds for 3D modelling. In such

situations, the registration of the multiple scans are necessary to minimize the discrepancies in LIDAR point clouds (Rieger et al., 2010). In proper GNSS measurement conditions, the accuracy of the MLS trajectory could be realized in cm-level (Haala et al., 2008a). On the contrary, in difficult conditions, the error increases to decimeters-level (Haala et al., 2008b). In such situations, the accuracy of point cloud can be increased with georeferencing or registration methods during the post processing stage.

TLS is a powerful technology for collecting 3D data spread over a large area in a very short time. (Kuçak et al., 2014). TLSs consist of lasers, precisely calibrated receivers, precision timing, high-speed micro-controlled motors, and precise mirrors (Fowler & Kadatskiy, 2011). The basic information obtained from each scan is the virtual point cloud formed by all of the 3D points of the surfaces measured in harmony with each other (Scaioni, 2005). The precision and accuracy of TLS make the TLS system a powerful technology for creating 3D dense point cloud according to the conventional measuring methods (Çelik et al., 2020). However, the registration of TLS scans must be done carefully because the registration errors affect the 3D model quality.

In this study, the accuracy of the point clouds, which were obtained by using the TLS and MLS were investigated. However, the error sources mentioned above which are GNSS and the calibration errors for mobile LIDAR systems and the registration errors for terrestrial Lidar systems are common problems (Kuçak et al., 2020). So, the accuracy comparison of the LIDAR systems carried out relatively using the distance differences of the points selected from point clouds to eliminate the error sources in the comparison. For the purpose of the study, (Istanbul Technical University) Yılmaz Akdoruk Student Dormitory was selected as test area. The dormitory is located in Ayazaga Campus of ITU in Turkey. (Figure 1). The facade of selected building has permanent and prominent points that can be easily measured repeatedly such as building corner points and window corner points. These type of points on the facade are used as test points in order to compare TLS, MLS and Total Station (TS) Surveys.



Figure 1. Yılmaz Akdoruk Student Dormitory

1. DATA and METHOD

The study area scanned with Leica C10 TLS, which can get 50,000 points per second with 6 mm accuracy until 50 m and uses impulse method for distance measurement. Also, the point spacing of scan resolution is 1 mm until 50 m. 3D point cloud of the building scanned with Leica C10 was processed with Cyclone Software by Leica Geosystems (Figure 2).

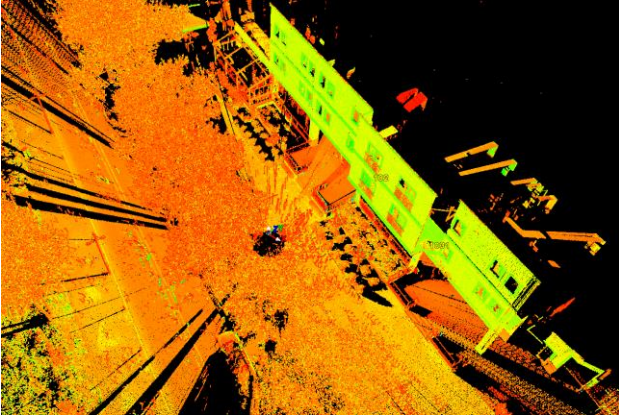


Figure 2. Point Cloud with Leica C10 Scanning

Mobile Mapping data was obtained by using the Riegl VMX 450 LIDAR System, which can get 1,000,000 points per second with 8 mm accuracy and use impulse method for distance measurement. (Figure 3).



Figure 3. ITU Ayazaga Campus Scanning by Riegl VMX 450 MLS

1.1. Error Propagation

The error propagation was applied for the test points from the surface to determine the point positioning accuracy of the instruments. The test points of the surface also positioned with "Pentax W1503" total station for the accuracy assessment of the TLS and MLS point clouds. The reflectorless distance measurement accuracy of the total station is "3 mm + 2 ppm" and the angle measurement accuracy is 3". The Leica C10 TLS distance measurement accuracy is 4 mm, angle measurement accuracy is 12" and the positional accuracy is 6 mm. The Riegl VMX 450 MMS system (Figure 4) includes VQ-450 laser sensors (2-laser scanners) and the laser sensors' accuracy is 8 mm. Table 1 also gives the technical specifications of the sensor' in VMX 450 (Toschi et al., 2015).



Figure 4. Riegl VMX-450 MMS System

Table 1. Technical characteristics of the RIEGL VMX-450 MMS (Toschi et al., 2015).

Sensor		VQ-450
Measuring principle		Time of Flight
Laser measurement rate		300-1100 kHz
Maximum range		140-800 m
Minimum range		1.5 m
Laser wavelength		Near infrared
Accuracy		8mm, 1σ
Precision		5mm, 1σ
Sensor		IMU/GNSS
Absolute position		0.020-0.050 m
Roll and pitch		0.005°
True heading		0.015°
Sensor		VMX-450-CS6
Resolution		5 Mpx
Sensor size		2452 * 2056 px
Pixel size		3.45 μm
Nominal focal length		5 mm

According to given measurement accuracies, the error propagation was applied to following equations.

$$X_B = X_A + (S_s \text{Cos}\alpha_a) \text{Cost}_a \quad (1)$$

$$Y_B = Y_A + (S_s \text{Cos}\alpha_a) \text{Sint}_a \quad (2)$$

$$Z_B = Z_A + (S_s \text{Sin}\alpha_a) + i_a \quad (3)$$

In the Equations 1-3, X_A, Y_A, Z_A are the 3D coordinate components of the local coordinate system at the standing point, X_B, Y_B, Z_B are the 3D coordinate components of the measured point, " t_a " is horizontal angle, " α_a " is the vertical slope angle, " i_a " is instrument height, " S_s " is slope distance. The accuracy ($m_{X_B}, m_{Y_B}, m_{Z_B}$) of the measured point coordinate components (X_B, Y_B, Z_B) could be calculated as;

$$m_{x_B}^2 = m_{x_A}^2 + (Cost_a^2 \cdot Cos\alpha_a^2) m_s^2 + (S^2 \cdot Cos\alpha_a^2 \cdot Sint\alpha_a^2) \frac{m_t^2}{\rho^2} + (S^2 \cdot Cost_a^2 \cdot Sin\alpha_a^2) \frac{m_a^2}{\rho^2} \quad (4)$$

$$m_{y_B}^2 = m_{y_A}^2 + (Cos\alpha_a^2 \cdot Sint\alpha_a^2) m_s^2 + (S^2 \cdot Cost_a^2 \cdot Cos\alpha_a^2) \frac{m_t^2}{\rho^2} + (S^2 \cdot Sint\alpha_a^2 \cdot Sin\alpha_a^2) \frac{m_a^2}{\rho^2} \quad (5)$$

$$m_{z_B}^2 = m_{z_A}^2 + (Sin\alpha_a^2) m_s^2 + (S^2 \cdot Cos\alpha_a^2) \frac{m_a^2}{\rho^2} \quad (6)$$

In the Equations 4-6, m_t is the angle measurement accuracy, m_s is the distance measurement accuracy of the instrument, and $\rho = 200/\pi$.

According to error-propagation, the point position accuracy was calculated between 4.02 – 4.21 mm for the TS, and was calculated between 5.56-5.67 mm for the TLS.

2. RESULTS

In the building facade, the most prominent and corner points were selected as test points. The coordinates of the test points obtained from the Total station measurements are accepted as reference coordinates and the Euclidean distance between the surface test points were calculated. Then, the distances between the test points derived from TLS and MLS point clouds compared with the reference distance calculated from the total-station. The position of the selected test points is given in Figure 5.

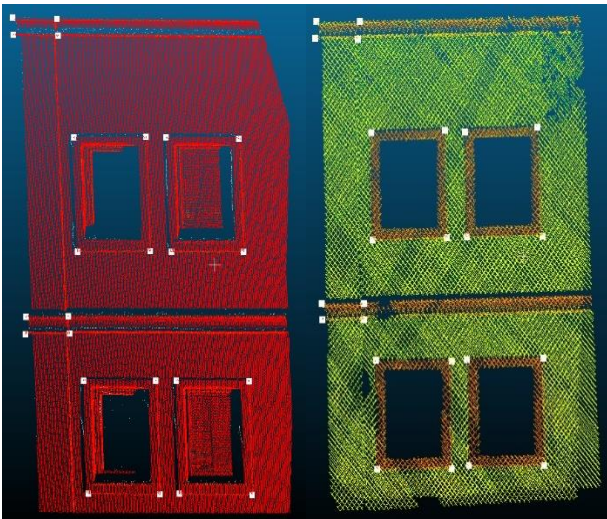


Figure 5. Key points TLS (Left), MLS (Right)

The distance differences between the TLS and MLS key points distances and total station test points distances are given in Table 2.

Table 2. The distance differences between TLS, MLS key points' distances and TS test point distances (cm)

TLS-TS	0	1	2	3	7	8	10	11	16
1	-2.1	-							
2	-0.9	1.1	-						
3	-2.0	0.0	-1.6	-					
7	-2.3	-0.4	2.0	-1.0	-				
8	-4.2	-2.0	3.9	1.7	-0.3	-			

10	-2.7	-0.5	4.1	1.0	-2.0	1.3	-		
11	-2.3	-0.1	4.0	0.6	-1.1	1.8	-0.3	-	
16	-1.9	0.2	2.3	1.1	-1.5	2.0	0.7	-0.2	-
18	-1.8	0.4	3.0	0.5	-0.3	2.4	0.6	0.7	-1.0
MLS-TS	0	1	2	3	7	8	10	11	16
1	0.8	-							
2	8.6	8.0	-						
3	4.9	4.2	-4.2	-					
7	3.8	6.4	6.4	0.2	-				
8	1.0	2.1	6.9	1.9	3.2	-			
10	4.8	5.1	4.0	-2.0	2.5	3.3	-		
11	2.7	4.4	7.8	2.0	-2.8	2.5	3.7	-	
16	8.3	8.3	2.9	1.9	3.5	6.2	3.0	5.7	-
18	8.8	9.7	4.4	0.8	4.7	7.7	4.6	7.5	-0.2

The mean error value and standard deviation of Euclidean distances differences between the points were calculated. According to statistics of data groups, TLS mean error is 0.1 cm, Standard Deviation is 1.9 cm, on the other hand; MLS mean error is 4.0 cm, and Standard Deviation is 3.2 cm. (Haala et al., 2008a) mentioned that with the obtained cm-level positional accuracy, MMS could be used for some applications include mapping purposes.

Descriptive statistics can be also used to determine the normality of two data set given in Table 2. Skewness and Kurtosis can indicate the normality of a data set. Skewness refers to asymmetry of probability distribution around the mean value of data set (Toschi et al., 2015). The Kurtosis refers to how the data set is peaked or flat relative to normal distribution (Toschi et al., 2015).

If the data set has normal distribution, mean value and standard deviation can represent the main characteristic of data set. In this study, IBM SPSS Statistics 26 software was used to obtain skewness and kurtosis value for the data sets (Table 3). In the IBM SPSS Statistics Software Manuel (IBM, 2020) , it is stated that If the Skewness and Kurtosis values are zero, distribution of the dataset is perfectly normal (Wright & Herrington, 2011). IBM SPSS software was used to determine skewness and kurtosis values of the data sets (Bliss, 1967).

Table 3. Skewness and Kurtosis outputs of IBM SPSS Statistics Software for the data sets

TLS - TS Statistics	
Number of Valid Data	45
Number of Missing Data	0
Skewness	0.255
Std. Error of Skewness	0.354
Kurtosis	-0.221
Std. Error of Kurtosis	0.695
MLS -TS Statistics	
Number of Valid Data	45
Number of Missing Data	0
Skewness	-0.388
Std. Error of Skewness	0.354
Kurtosis	0.067
Std. Error of Kurtosis	0.695

Based on the results on Table 3, Skewness and kurtosis values are so close to the zero. Therefore, these results indicate the normality of the datasets.

Also, the Q-Q plot can be used to see how data set distributed relative to the normal distribution. (Toschi et al., 2015). If distribution of data set follows the Gaussian function, the Q-Q plot should be a diagonal straight line. The IBM SPSS Statistics software was used to produce Q-Q plot for the data sets (Figure 6a & 6b).

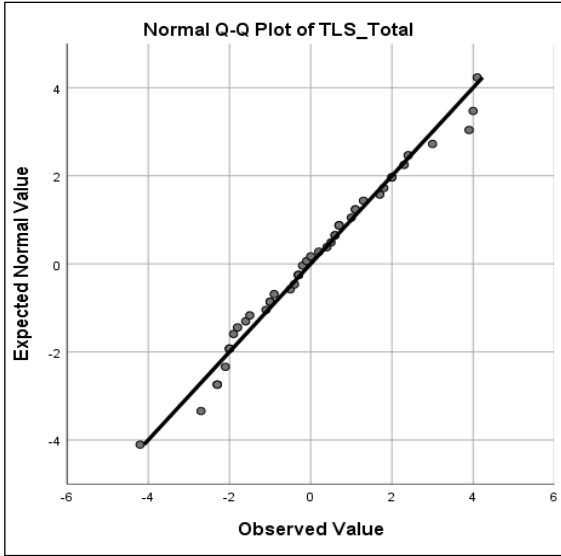


Figure 6a. Normal Q-Q plot of TLS- Total Station Differences Data

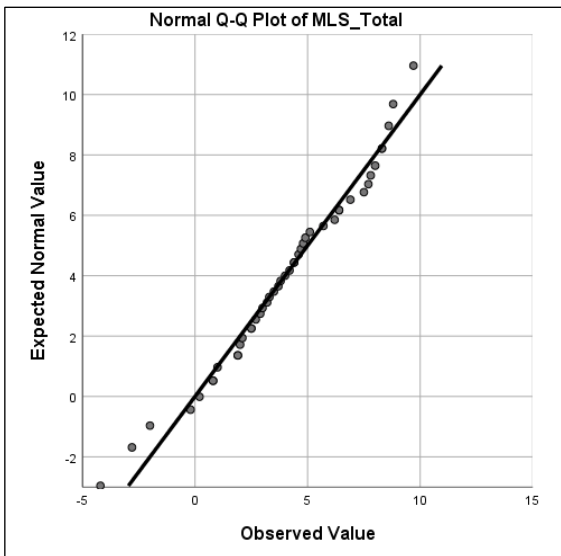


Figure 6b. Normal Q-Q plot of MLS- Total Station Differences Data

According to Figure 6, it can be stated that, the data set points are distributed around the diagonal straight line. Skewness and Kurtosis value for the data sets indicate that distribution of each data set can be accepted as normal distribution. Thus, characteristics of the data sets such as mean value and standard deviation can be used to analyze the data groups (Figure 6a & 6b).

Although the number of samples in the data sets was insufficient, the Kolmogorov-Smirnov tests and Shapiro-Wilks tests were also used in addition to Skewness,

Kurtosis tests and Q-Q plots to determine the normality of the data sets. According to the given SPSS test outputs in Table 4, the Sig. values (or P values) of both normality tests are greater than the 0.05 value. Therefore, it is accepted that the data sets were not significantly different from the normal distribution. Therefore, the results of both Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilks tests showed that both data groups have normal distribution properties. However, these applied tests are not trustworthy for small size data groups. In this study, skewness and kurtosis values were used to support statistical test results.

Table 4. Normality tests for the data sets using SPSS software

Tests of Normality for TLS-TS					
Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
0.062	45	0.200	0.979	45	0.577
Tests of Normality for MLS-TS					
Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
0.075	45	0.200	0.976	45	0.456

In Figures 7a and 7b, the distributions of 45 Euclidean distances differences were shown for TLS and MLS data groups, respectively. Both data groups show the normal distribution curve. According to the differences between TS and TLS, the mean value was 0.1 cm, and the maximum difference was 4.2 cm. On the other hand; MLS had 4.0 cm mean, and the maximum difference was 9.7 cm. It can be stated that obtained results in our study are similar to the results of other related studies in the literature. (Haala, Peter, Kremer, & Hunter, 2008b) investigated the quality of a building facades of an existing 3D city model of the city of Stuttgart. They proved that an accuracy better than 3 cm (standard deviation of the differences between measured and reference data) can be achieved by the system in robust GNSS conditions. Similarly, the same accuracies have been obtained in many studies in the literature.

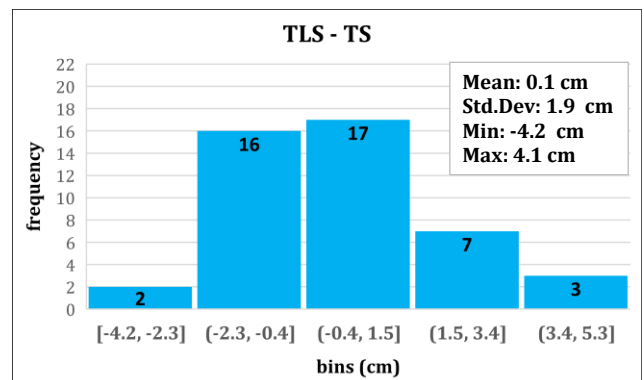


Figure 7a. The distribution of distance differences between TLS and Total station.

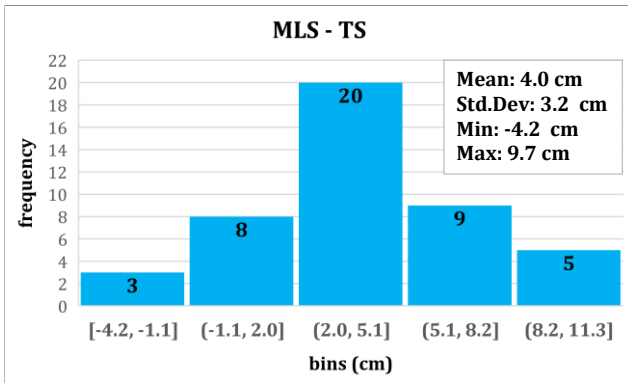


Figure 7b. The distribution of distance differences between MLS and Total station.

In this study, Total station data is accepted as the most accurate measurement system and the Euclidean distances between the surface points were calculated for the TLS and MLS point cloud validation. The accuracy ($m_{x_B}, m_{y_B}, m_{z_B}$) of the measured points was calculated to determine the point position accuracy as free of point cloud resolution errors. The primary reason for using the Euclidean distance between surface points is to compare the accuracy of the two systems, neglecting GNSS and calibration errors. The results show that the accuracy of the TLS system is much better than the MLS system as expected.

3. DISCUSSION

The distance differences between reference distances calculated by Total Station and the distances calculated from the TLS and MLS point clouds were obtained primarily, and then the statistics calculated. According to the calculated standard deviations of the distance differences, the accuracy of the point clouds was obtained as 1.9 cm for TLS and 3.2 cm for MLS. Also, mean values between the distance differences were obtained as 0.1 cm and 4.0 cm, respectively. The mean values show the bias (systematic error) between these systems according to Total Station measurements. The histograms show that the accuracy of TLS and TS are close to each other. However, the accuracy of the MLS is low due to the un-eliminated errors such as GNSS errors (multipath, cycle-slips, etc.), in the moving system.

The experiments performed in this study show that each of these methods has both advantages and disadvantages and one unique technique cannot recommendable for the documentation of historical artifacts (Kuak et al., 2014). Both MLS-Total station and TLS-Total station differences show the normal distribution. According to results, TLS gave more accurate results than MLS because TLS scans were used directly without registration for accuracy assessment.

This study shows that each of these systems has both advantages and disadvantages. MLS (Mobile LiDAR System) is a product of the latest technology towards the fast acquisition of 3D spatial data. However, the lack of calibration in these systems leads to undesirable results. The errors mentioned above text, GNSS and calibration errors, are common problems in Mobile LiDAR Systems. Because of that, the point cloud coordinates are not compared directly in this study.

The results show that that the accuracy of the TLS is much better than the MLS. TLS can be preferred for studies that require high accuracy such as cultural heritage, Building Information Management (BIM) projects. However, MLS should be preferred in applications such as production of various topographic maps and creating 3D city models rather than 3D cultural heritage documentation. The obtained results are similar to other studies done with Riegl mobile LiDAR systems.

4. CONCLUSION

TLS and MLS Technology is a rapidly developing technology today. The experiments performed in this study show that each of these methods has both advantages and disadvantages. The ease of use in the field and the ability to measure millions of points in a very short time provide great convenience to the user. The advantages of the LiDAR systems are seen when compared with other 3D documentation methods in terms of time. Under proper GNSS conditions and with good calibration values, 3D models and topographic maps can be produced by MLS in a very short time and with the desired accuracy. The results obtained in this study show that LiDAR systems comply with the regulation (Regulation on Production of Large Scale Maps and Map Information, 2018) for 3D topographic map production.

ACKNOWLEDGEMENT

“Koyuncu Lidar Harita ve Mühendislik” Company is acknowledged for providing the mobile mapping systems for this study. The point cloud data were processed by using CloudCompare Software and the statistics were obtained by using IBM SPSS Statistics 26 software. The authors appreciate both software. This article is the extended version of the proceeding that was presented at the 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD) on 25-26 November 2020 in Mersin, Turkey.

REFERENCES

- Bliss C. (1967). Analysis of fourfold tables. *Statistics in biology*, 1, 53-91.
- Chen G, Weng Q, Hay G J & He Y (2018). Geographic object-based image analysis (GEOBIA): emerging trends and future opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 55 (2), 159-182.
- elik M Ö, Hamal S N G & Yakar İ (2020). Yersel Lazer Tarama (YLT) Yönteminin Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Kullanımı: Alman eşmesi Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 15-22.
- Fowler A & Kadatskiy V (2011). *Accuracy and error assessment of terrestrial, mobile and airborne lidar*. Paper presented at the Proceedings of American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Conference (ASPRP 2011), 1-5 May 2011, Milwaukee, Wisconsin.

- Haala N, Peter M, Kremer J & Hunter G (2008a). Mobile LiDAR mapping for 3D point cloud collection in urban areas—A performance test. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 37, 1119-1127.
- Haala N, Peter M, Kremer J & Hunter G (2008b). Mobile LiDAR mapping for 3D point cloud collection in urban areas—A performance test. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37 (Part B5).
- IBM (International Business Machines) 2020 <https://www.ibm.com/support/pages/ibm-spss-statistics-26-documentation>. Date:16.11.2020.
- Jing H, Meng X, Slatcher N & Hunter G (2020). Efficient point cloud corrections for mobile monitoring applications using road/rail-side infrastructure. *Survey Review*, 1-17.
- Kuçak R, Kılıç F & Kısa A (2016). Analysis of terrestrial laser scanning and photogrammetry data for documentation of historical artifacts. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 155.
- Kuçak R, Özdemir E & Erol S (2017). The segmentation of point clouds with k-means and ANN (artificial neural network). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 595.
- Kuçak R A, Kılıç F & Kısa A (2014). *Analysis Of Various Data Collection Methods For Documentation Of historical Artifacts*. Paper presented at the 5. Remote Sensing-GIS Conference , İstanbul.
- Kuçak R, Erol S & İşiler M (2020). The Accuracy Assessment of Terrestrial and Mobile Lidar Systems for 3D Modelling. *Proceedings book of the 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD) Symposium, Mersin, Mersin, Turkey*.
- Rieger P, Studnicka N, Pfennigbauer M & Zach G (2010). Bore-sight alignment method for mobile laser scanning systems. *Journal of Applied Geodesy*, 4 (1), 13-21.
- Rodríguez-González P, Jimenez Fernandez-Palacios B, Muñoz-Nieto Á L, Arias-Sanchez P & Gonzalez-Aguilera D (2017). Mobile LiDAR system: New possibilities for the documentation and dissemination of large cultural heritage sites. *Remote Sensing*, 9 (3), 189.
- Rusu R B, Marton Z C, Blodow N, Dolha M & Beetz M (2008). Towards 3D point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 56 (11), 927-941.
- Scaioni M (2005). Direct georeferencing of TLS in surveying of complex sites. *Proceedings of the ISPRS Working Group*, 4, 22-24.
- Toschi I, Rodríguez-González P, Remondino F, Minto S, Orlandini S & Fuller A (2015). Accuracy evaluation of a mobile mapping system with advanced statistical methods. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5), 245.
- Wang Y, Chen Q, Zhu Q, Liu L, Li C & Zheng D (2019). A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas. *Remote Sensing*, 11 (13), 1540.
- Wright D B & Herrington J A (2011). Problematic standard errors and confidence intervals for skewness and kurtosis. *Behavior Research Methods*, 43 (1), 8-17.



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Turkish Journal of LIDAR

Türkiye Lidar Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Hybrid Modeling of Adamkayalar Reliefs

İldeniz Leyla Öztürk¹, Mehmet Özgür Çelik¹, Erkan Baygül²

¹ Mersin University, Engineering Faculty, Geomatics Engineering, Mersin, Turkey

² Geomatics Engineering, Ankara, Turkey

Keywords

Terrestrial Laser Scanning
Unmanned Aerial Vehicle
Documentation
3D Model

ABSTRACT

Throughout history, many civilizations with different ethnic and national values have lived in Anatolia. In many parts of Turkey's possible to encounter this civilization's cultural heritage. Cultural heritages in the world; until today, it has been affected by natural events such as earthquakes, floods and fire. These have been completely or partially destroyed as a result of human activities. Cultural heritage is very precious to people and assurance. Quick and practical documentation is of great importance to this. Various methods are used for this documentation process. Among these methods, terrestrial laser scanning (TLS) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry are frequently preferred techniques in recent years. Both methods ensure recording cultural heritages and producing 3D realistic models. It is not always easy to collect data in places with cultural value because of their historical importance and location. At this juncture, the use of terrestrial laser scanners and UAVs makes an important contribution to the documentation of cultural heritage. This study aims to examine the Adamkayalar reliefs, by using TLS and UAV photogrammetry. By processing the data obtained from both methods, a 3D model of the study area was produced and the results were evaluated.

1. INTRODUCTION

Anatolian geography, which has been home to different civilizations and cultures throughout history, contains numerous and different heritages that are historical, socio-economic and cultural. Providing clues about the life, traditions and customs of past societies, these cultural heritages are extremely important.

The studies conducted in recent years in Turkey gives weight to this issue (Ulvi et al., 2020; Ulvi & Yigit 2019). In this context, experts considering people's opinions and professional experiences, legal infrastructure (legislation) has been created. Laws, bylaws and regulations that have been enacted in the past and that are completely or partially out of date have been revised to meet the needs of the day (Çoruhlu et al., 2017; Koca et al., 2016; Aliefendioğlu & Tanrıvermiş, 2011; Ulvi et al., 2019; ÇŞB, 2006).

Efforts to identify, register, manage and preserve these cultural heritage works that mirror the past have gained momentum. The documentation has an important place in protecting cultural heritage and transferring it to future generations. These places; It is a field of study

whose documentation includes different professional disciplines, since they were made in different periods and by societies with different cultures and characteristics. Therefore, the documentation process requires great dedication.

In the study, the TLS method was primarily used because it provides a fast and high-resolution method and enables the surface geometries of cultural heritage elements to be created effectively (Deniz et al., 2017; Ulvi & Yakar, 2014; El-Hakim, 2001; Barber et al., 2001) preferred. Scans were carried out to produce a 3D model of the work in question. With the point clouds obtained from this scan data, the 3D model was first created by this technique. As the second method; In addition to the TLS method, UAV photogrammetry was used in order to obtain more detailed information and to make the 3D model more comprehensive. Photographs of the reliefs in different areas in the region were taken with UAV overlapping. The 3D model of the heritage was produced by processing the data obtained from both methods.

Various methods were applied in the Adamkayalar relief of the study area, measurements were made, and photo-realistic 3D models of the area were created in a

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(idenizleylaa@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0598-9316
(mozdurcelik@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4569-888X
(ebaygul@gmx.com) ORCID ID 0000-0003-4513-4961

Cite this article (APA);

Öztürk İ L, Çelik M Ö & Baygül E (2020). Hybrid Modeling of Adamkayalar Reliefs, *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 41-47.

hybrid manner. In this way, a permanent document belonging to the study area was produced, and this is the historical monument; It has contributed to the transmission, protection, documentation and management of future generations. In addition, it is aimed to use the 3D model as a base for possible interventions to the work. Adding to the history and culture of this historic part of the national heritage register bears traces of civilization is of great importance for Turkey.

2. STUDY AREA

The working area, Adamkayalar BC. (before Christ) 3rd century. and the 3rd century AC. (after Christ). It is one of our cultural heritages, which is thought to have been built in the period between 6th and 15th. It is located in Şeytan Deresi Valley, which is approximately 5 kilometers away from the Kızıkalesi District of Mersin Erdemli district. The Adamkayalar reliefs are located at $36^{\circ} 31'30''$ N $34^{\circ} 03'15''$ D coordinates (Kültür portalı, 2020).

The archaeological ruin known as Adamkayalar, which consists of large reliefs, is one of the important cultural heritage of Mersin city (Figure 1)

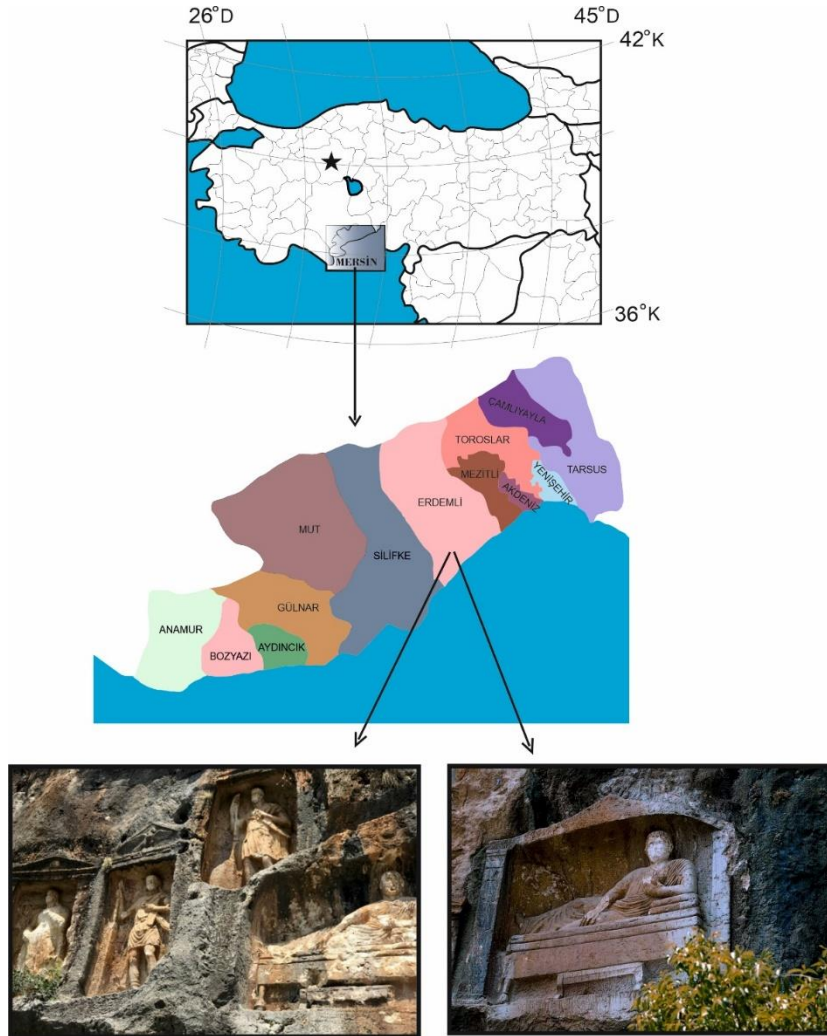


Figure 1. Study area

3. METHOD

Terrestrial photogrammetry has been used in 3D modeling of historical artifacts for many years, but it is insufficient alone (Uslu & Uysal, 2017; Chandler et al., 2007). In this study, 3D modeling of Adamkayalar reliefs, one of the national assets, was carried out by using TLS and UAV photogrammetry in the documentation of historical artifacts that are cultural assets. For this, a challenging field study was made, the work was created with a 3D model and the results were evaluated.

3.1. Terrestrial Laser Scanning (TLS)

The technique in which any object is scanned with the help of LIDAR (Light Detection and Ranging) technology is called laser scanning method (TLS). This technology is used in many fields such as cultural heritage recording, engineering projects and so on. LIDAR technology; it consists of 3 sections: terrestrial, air and mobile lidar. TLS method has become a technique that is generally used in research and studies for the protection and documentation of historical artifacts and cultural heritage (Beg, 2018).

In the documentation studies of national assets, 3D modeling is performed by triangulation method by using terrestrial laser scanners at close range during the

scanning of small sculptures, historical artifacts and objects (Sabuncu & Özener, 2020). In this method, the distance between the device and the object is measured and a point cloud is obtained thanks to the laser beam emitted from the laser scanner device, and thanks to this point cloud, a 3D model of the working area is created. This technology enables objects to obtain direct and precise 3D coordinates. Point position information is provided with high precision (mm) faster than conventional measurement methods.

In this study, Faro focus S 350 instrument was used as a terrestrial scanner. This device works according to the phase comparison method (Figure 2).

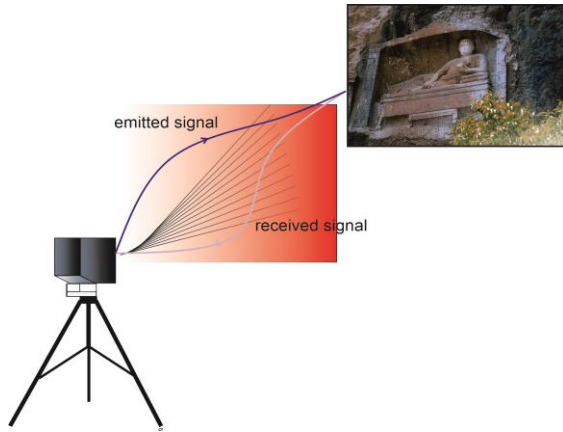


Figure 2. Phase comparison method

In the phase comparison method, the length of the object and the device is found by the phase difference between the reflected and emitted waves. The mathematical interpretation of the method is shown in Equation 1.

$$D = \frac{c \cdot \theta}{4\pi f} \quad (1)$$

*D: distance

*c: speed of light

*f: frequency

*θ: phase difference

3.2. UAV Photogrammetry

Today, in photogrammetry, the Structure from Motion (SfM) technique is mostly used in UAV photogrammetry (Sarıtürk & Şeker 2017; Furukawa & Hernández, 2013; Westoby et al., 2012). SfM is a method that aims to create a three-dimensional (3D) model from photographs taken with two-dimensional (2D) overlays (Snaveley 2008; Dellaert et al., 2000). This method provides cost-effective work with high resolution large data sets (Kolzenburg et al., 2016; Morgan & Brogan, 2016) (Figure 3).

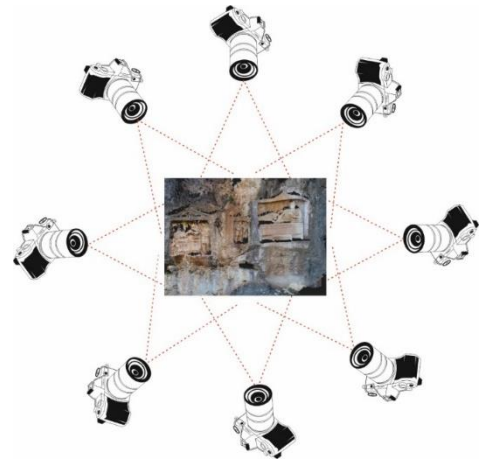


Figure 3. SfM method

The main purpose of the method is 3D model production (Çelik et al., 2020). Compared to other photogrammetric techniques, there is no need for additional camera calibration as the model geometry and camera position information are automatically resolved (Katarína et al., 2020; Simón et al., 2018).

The SfM technique was preferred in the study due to its various features and advantages in creating 3D models. With the development of technology in the documentation and permanent documentation of cultural heritage, the 3D model has become a powerful option. In this context, aerial photos were taken with the SenseFly eBee UAV in order to obtain general information about the historical place.

Table 1. SenseFly eBee UAV (Sensefly, 2020)

Weight	1.1 kg
Wing span	110 cm
Camera	senseFly SODA (20 MP)
Flight time	59 minute
Flight distance	45 km
Cruising speed	11-30 m/s



In order to better reveal the details of this work, which contains the traces of past societies, images were taken by the Parrot Anafi UAV.

Table 2. Anafi Parrot UAV (Parrot, 2020)

Weight	316 g
Camera	21 MP 4K HDR
Flight time	25 minute
Flight distance	4 km
Horizontal top speed	15.2 m/s
Vertical top speed	4 m/s



From these images obtained by UAV with different hardware and features, the 3D model of the work was created in the Agisoft Photoscan programme, a commercial software using the SfM algorithm.

First of all, the TLS method, which is a fast and high-resolution technique and has become widely used in the documentation of cultural heritage assets, was preferred. 8 scans were carried out around the Adamkayalar reliefs with a terrestrial laser scanner (TLS) at suitable seating places. A land survey was made before the study in determining the residence locations. Care has been taken

to ensure that the reliefs appear at the optimum level and have common details with the next scan. The data were transferred in Faro Scene software, where laser scanning data can be processed and used in 3D model production. The point cloud of the study area was created and a 3D model was produced from this point data set (Figure 4). The process flow realized in the software is shown in Figure 4.

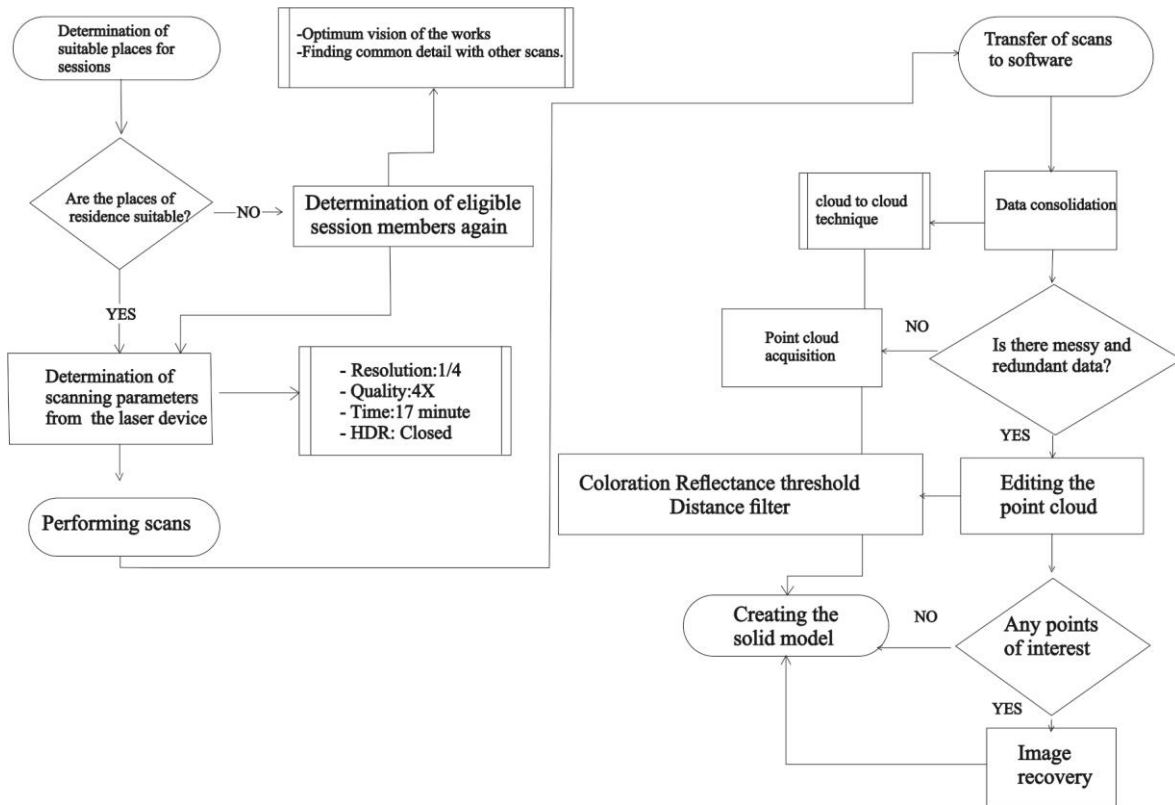


Figure 4. Process flow realized in software

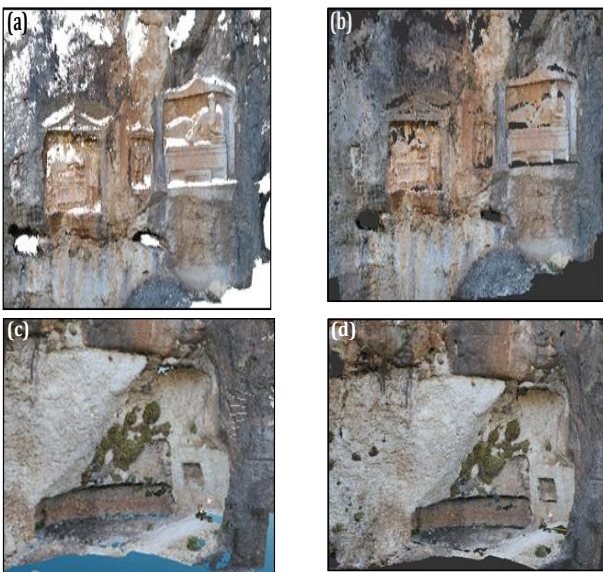


Figure 5. (a), (c) Point cloud obtained by TLS method (b), (d) 3D model

As the second method; UAV photogrammetry was used together with the TLS method in order to make the 3D model more detailed. Two different UAVs (Table 1, 2) were used in this method. First of all, the aerial (70 m height) images were taken with the eBee device in order to examine the study area as a whole and to obtain general information about the area. Then, photos were taken manually with the Parrot device in order to create clearly the facade and details of the reliefs in the 3D model. By processing the data obtained by both tools, point clouds and photo-realistic 3D models of the heritage were produced (Figure 7, 8).

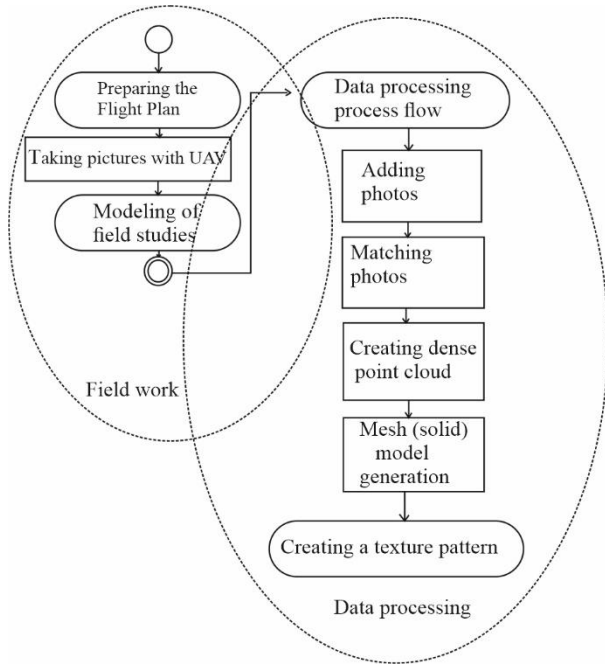


Figure 6. Processes in the UAV photogrammetry method

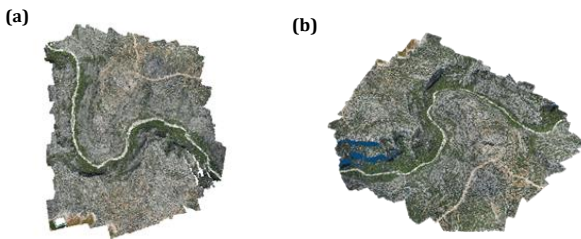


Figure 7. (a), (b) Point cloud obtained with SenseFly eBee UAV 3D model

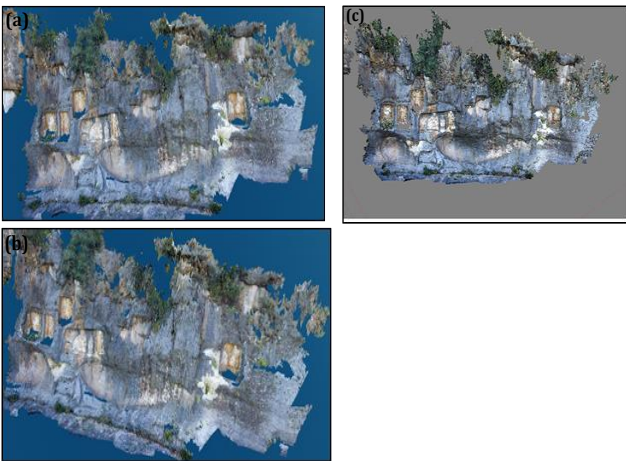


Figure 8. (a), (b) Point cloud obtained by Anafi Parrot UAV (c) 3D model

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The study area is the Adamkayalar relief, which has historical, sociological and cultural significance. In this heritage work, TLS and UAV photogrammetry methods, which have become widespread in documentation processes in parallel with the developing technological advances, were used. Although these techniques have advantages and disadvantages, each has its strengths.

With the work carried out, the positive and negative aspects of the techniques were tried to be determined. TLS method provides fast, high quality and resolution data in close range. In addition, accuracy and precision are extremely high. Thus, it has been determined that it is among the strongest alternatives that can be used in the documentation of cultural heritage studies. Although the positive features of this method are dominant, it also has some disadvantages. This method alone is insufficient for factors such as the relatively large size of the work or structure to be documented and the difficulty of access to the region.

The UAV photogrammetry method provides the opportunity to measure at close or far distances, without reaching the object. 3D model can be obtained directly or by means of point clouds by taking photographs of the object with overlapping. Within the framework of these features, this method can be used alone or in combination with different methods in the documentation of cultural heritage. This technique also has negative aspects. While the aerial view of the work to be modeled can be obtained easily, in some cases, facade photographs cannot be obtained properly. This problem causes the side surfaces and details to not be fully formed in the model of the work. In addition, it is not always possible to benefit from UAV photogrammetry due to factors such as the geography and geopolitical location of the study area. In order to eliminate the aforementioned negativities, integrated transactions are carried out with different methods.

In the study; Different methods were applied, measurements were made, and photo-realistic 3D models of the field were produced in a hybrid way. In this way, a permanent document belonging to the working area has been created. The historical work of this document; It is predicted that it will contribute to the transmission, protection, documentation and management of future generations. In addition, it is highly possible to use the 3D model as a base for possible interventions to the work. It is assumed that this study is important for adding this historical region bearing the traces of past cultures and civilizations to the national heritage records and can set an example for other similar studies. Located preservation of numerous cultural heritage waiting to be unique and discovered in Turkey, although tourism and therefore the documentation of the cultural heritage in terms of making contributions to the promotion of the country is extremely essential that the process should be made by those skilled in the area.

REFERENCES

- Aliefendioğlu Y & Tanrıvermiş H (2011). Türkiye'de Çevre Koruma Alanlarında arazi kullanımı ve Koruma Kararlarının Arazi Piyasalarına Etkileri: Gökova Özel Çevre Koruma Bölgesi Örneği. *Üçüncü Sektör Kooperatifçilik*, 46 (1), 64-102.
- Barber D, Mills J & Bryan P G (2001). Laser Scanning and Photogrammetry: 21st century metrology. 18-21 September, 360-366. Potsdam, Germany.
- Beg A A (2018). 3 Boyutlu Modellemede Yersel Lazer Tarama ve İnsansız Hava Araçları Verilerinin Entegrasyonu ve Kilistra Antik Kenti Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çelik M Ö, Yakar İ, Hamal S N G, Oğuz G M & Kanun E (2020). Sfm Tekniği ile Oluşturulan 3B Modellerin Kültürel Mirasın Belgenmesi Çalışmalarında Kullanılması: Gözne Kalesi Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1), 22-27.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) (2006). Türkiye Korunan Alanlar Yönetim Planlaması Rehberi.
- Chandler J H, Bryan P & Fryer J G (2007). The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras. *The Photogrammetric Record*, 22 (117), 10-21.
- Çoruhlu Y E, Çelik M Ö, Demir O & Yıldız O (2017). Korunan Alanların Arazi Yönetiminde CBS Uygulamaları. 1(1), 1-7.
- Dellaert F, Seitz S M, Thorpe C E & Thrun S (2000). Structure from motion without correspondence. Proceedings. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2000 (Cat. No.PR00662), Hilton Head Island, SC, 557-564 Vol. 2, doi:10.1109/CVPR.2000.854916
- Deniz S, Öktem S, Kırbaş İ & Tarkan D (2017). Alansal/Yersel Lazer Tarayıcıların Arkeolojik Mekânların Fiziki Özelliklerinin Tespitinde Kullanılması: Kibrya Antik Kenti Odeon Yapısı Sahne Duvarı Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (1), 211-217.
- El-Hakim S F (2001). A flexible approach to 3D reconstruction from single images ACM Proceedings of SIGGRAPH '01, Technical Sketches, Los Angeles, California, 12th to 17th August 2001. 280 pages: 186.
- Katarína P, Karol B, Pavel B, Juraj G, Peter B & L'udovít K (2020). Surveying and High-Resolution Topography of the Ochtiná Aragonite Cave Based on TLS and Digital Photogrammetry, 10 (13)
- Koca R, Güney İ, Öncü M A & Somuncu M (2016). A research on effective planning and sustainable area management in protected areas: Case of Kaçkar Mountains National Park International Geography Symposium, 13-14 October 2016, Ankara.
- Kolzenburg S, Favalli M, Fornaciai A, Isola I, Harris A J L, Nannipieri L & Giordano D (2016). Rapid updating and improvement of airborne lidar DEMs through ground-based sfm 3-d modelling of volcanic features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54 (11), 6687-6699
- Kültür Portalı (2020). <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/mersin/gezilecekler/adamkayalar>
- Parrot, 2020 <https://www.parrot.com/us/drones/anafi>
- Sabuncu A & Özener H (2020). Mimari Dökümantasyonda Yersel Lazer Tarama Teknolojisi Kullanımı: Tarihi Sismoloji Binası Örneği,1(1): 45-52
- Sarıtürk B & Şeker D Z (2017). SFM Tekniği ile 3B Objeler Modellenmesinde Kullanılan Ticari ve Açık-Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 126-131.
- Sensefly, 2020 <https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/>
- Simón P, Mariluz G & Juan O (2018). 3-D Modeling of Historic Façades Using SFM Photogrammetry Metric Documentation of Different Building Types of a Historic Center.
- Snavely N (2008). Scene reconstruction and visualization from Internet photo collections, unpublished PhD thesis, University of Washington, USA.
- Ulvi A & Yakar M (2014). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet Araştırması. *Electronic Journal of Map Technologies*, 6 (1), 25-36.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dökümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 1-6.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit A & Kaya Y (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal Of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit A Y & Kaya Y (2020) İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5 (1), 19-26

Uslu A & Uysal M (2017). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi İle 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği, 2(2), 60-65

Westoby M J, Brasington J, Glasser N F, Hambrey M J, Reynolds J M (2012). Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Turkish Journal of LIDAR
Türkiye Lidar Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Binnaz Sarı^{*1}, Seda Nur Gamze Hamal¹, Ali Ulvi¹

¹Mersin University, Institute of Science, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Mersin, Turkey

Keywords

3D Model
Photogrammetry
Unmanned Aerial
Vehicles
Terrestrial Laser
Scanners
Structure

ABSTRACT

Modeling objects with different size and geometry and extracting metric information of this object is more difficult than ordered geometric structures. Especially, analyses and measurements to be made on similar structures cannot be accurate and precise with conventional methods such as minarets, domes, columns, mausoleums, and statues that have a conical, spherical, or cylindrical shape. Three-dimensional (3D) scanning technologies such as Terrestrial Laser Scanners (TLS) are important tool for modeling to complex structures. Clearly, 3D scanners are more suitable than conventional methods for measuring objects with disordered and complex surfaces. It is one of the best methods for applications with similar complex structures. However, the biggest disadvantage of ground-based scans such as TLS are that the data of the upper facades of the building cannot be collected due to the scanning location. The collection of data on the upper facades of the buildings with carrier platforms such as Unmanned Aerial Vehicles (UAV) that make it possible to take images from the air contribute to overcoming this problem. In this study, the data of the columns with complex structures in the archaeological site of Soli-Pompeipolis were collected and modeled using TLS and UAV photogrammetry methods. For modeling, a hybrid method was used by combining the data obtained by TLS and UAV photogrammetry methods. As a result of the study, 0.21 and 2.3 cm precise were obtained for point clouds produced by TLS and UAV photogrammetry, respectively. By combining the point clouds obtained from both data collection methods, 1.7 cm precise was calculated.

1. INTRODUCTION

The analysis of attribute information and integration with information systems is one of the common areas of study of several disciplines (Dereli et al., 2019; Aicardi et al., 2016). Especially, structures exposed to object deformation are the main analysis studies. Structures are deformed due to many natural or unnatural reasons (Yakar et al., 2015; Ulvi et al., 2020). Analysis studies of structures that are subject to deformation cannot be performed as desired using classical methods. Various analyses of these structures can be made with modern methods. At this point, analyses can be made quickly and easily by producing 3D models with various data collection methods (Balletti, et al., 2015; Bolognesi et al., 2014).

Using 3D models to extract metric information of structures with different dimensions and geometries give precise and accurate results (Yılmaz and Yakar, 2006; Ulvi and Yiğit, 2019; Cryderman et al., 2014). Modern methods should be used for analysis and

measurements on similar structures such as minarets, domes, columns and sculptures, especially, those with conical, spherical or cylindrical shapes (Harshit et al., 2020; Dayal et al., 2017;). These methods used in the creation of 3D models have a significant effect on the accuracy of the model and analysis (Uysal, M., et al., 2018; Makineci et al., 2020). With the developing technology, UAV photogrammetry and laser scanning technology are used more and more effectively in 3D model studies (Remondino, et al., 2014; Martínez-Carricondo et al., 2020; Sanz-Ablanedo et al., 2018; Pepe et al., 2016; Ulukavak et al., 2019). These systems, which are complementary to each other, in the collection and evaluation of data; It is fast, efficient, economical and reliable (Yakar and Yılmaz, 2008; Güvenlikaz et al., 2011; Şanlıoğlu et al., 2013; Comert. et al., 2019). These systems allow the creation of high-precision 3D models, a clearer view of the details on the object, the examination of the changes on the object, and the digital presentation and storage of the documents belonging to the object (Ulvi et al., 2019). Therefore, these systems are used in different

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Cite this article (APA);

(binnaz452@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-8240-9680
(sedanurgamzehamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011

Sarı S, Hamal S N G & Ulvi A (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS), *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 48-54.

disciplines (Karabörk et al., 2009, Alptekin et al., 2019a, Şenol et al., 2017).

Studies in the literature show that the TLS data, such as buildings that make up the 3D city model can be quickly collected and extracted from the land (Yakar et al., 2006; Çelik et al., 2020; Şenol et al., 2019; Şenol et al., 2020). In addition, with the integration of UAVs in this area, the collection of data on the missing fronts has been ensured (Mırdan & Yakar, 2017).

In this study, accuracy analysis was performed on the 3D model of the cylindrical columns considering the advantages of UAV photogrammetry and the TLS system. The combined utilization of UAV and TLS technologies contribute to obtaining highly sensitive products (Chen et al., 2020). In addition, the use of the UAV-TLS hybrid method allows the entire object to be modeled since data on all surfaces of the object that cannot be collected with a single system (Valenti et al., 2019; Alptekin et al., 2019b; Hamal et al., 2020). Getting both visual and metric information of the result obtained with these systems allow it to be used as a base in different studies (Ağca et al., 2020). As a result of the study, 0.21-2.3 cm accuracy was obtained for point clouds produced by TLS and UAV photogrammetry, respectively. By combining the point clouds obtained from both data collection methods, 1.7 cm was calculated.

2. METHODOLOGY

In this study, 3D models of complex structures were produced using TLS and UAV photogrammetry methods and accuracy analysis was evaluated.

2.1. Study Area

The study area is the *Sütunlu Cadde* of the ancient city of Soli-Pompeipolis in Mersin province (Figure 1). There are 49 columns in the study area. That's why the study area is divided into three blocks. Blocks A, B and C include 14, 8 and 27 columns, respectively. (Figure 2).

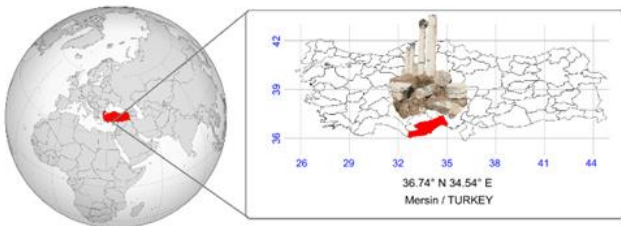


Figure 1. Study area (36.74°N 34.54°E)

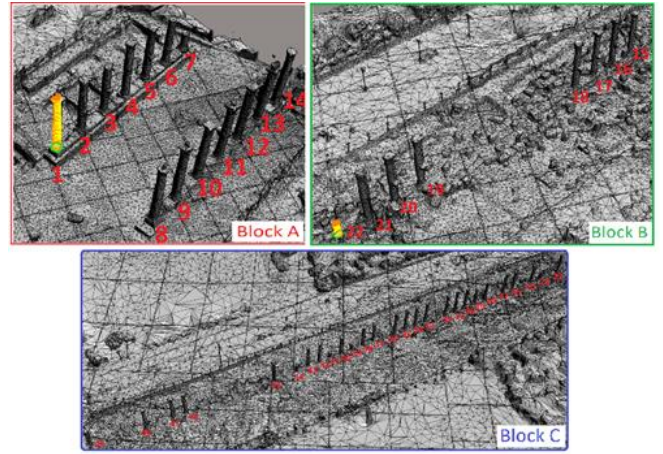


Figure 2. The study area is divided into A-B-C blocks

2.2. 3D Modeling and Analysis

TLS method; LIDAR (Light Detection and Ranging) technology is a system that is used to obtain a point cloud with X, Y, Z coordinates belonging to the targeted object. It can measure with high accuracy and speed with TLS. In addition, it is used in the documentation, restoration, restitution, reverse engineering, 3D modeling, and analysis studies, as it enables printing in digital form and creating a base for different studies.

The UAV photogrammetry method is basically a method of taking pictures with overlays and obtaining 3D models using the photogrammetry method (Yiğit & Uysal, 2020).

Within the context of the study, a 3D model was created using Soli's UAV and TLS methods (Figure 3).

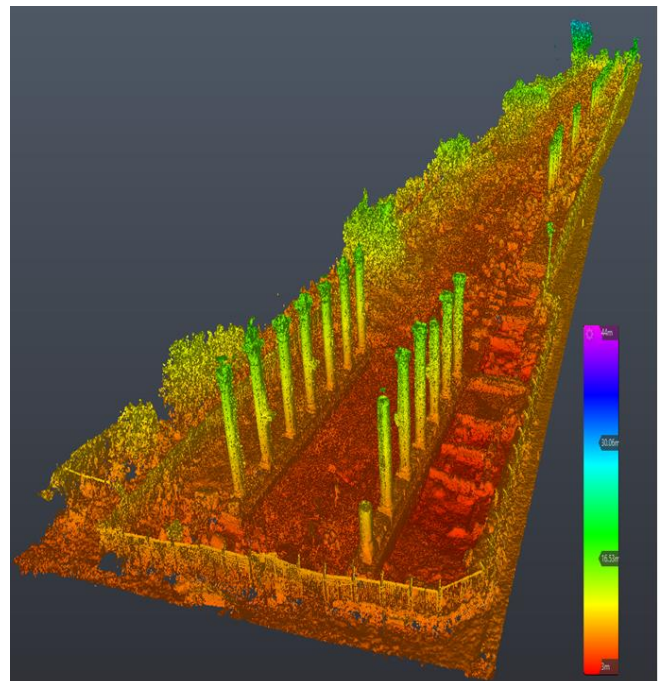


Figure 3. 3D model created using UAV and TLS methods

The 3D model workflow used in the study is shown in Figure 4.

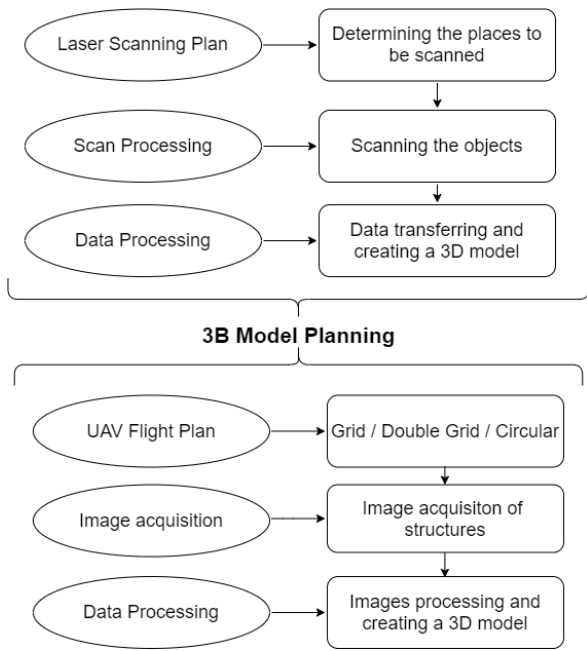


Figure 4. 3D model planning

The data collection methods and workflow used in the study are shown in Figure 5.

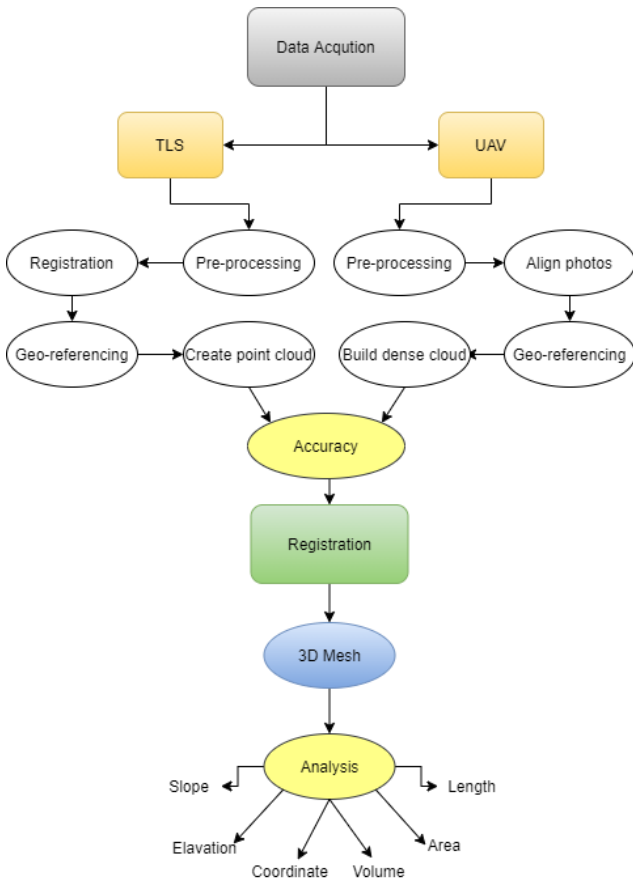


Figure 5. Workflow diagram

In this study, 37 control points were measured homogeneously over the columns with the Total-station to measure coordinate the 3D model and determine the position accuracy. 20 of the control points were used in

coordinating the model, and 17 of them were used as check-points for accuracy analysis.

Considering the physical properties of the columns, sharp details have been chosen for the control points. The selection of control points from sharp details is important in terms of distinguishing and marking on the model.

3. RESULTS

Firstly, generate point clouds were used by TLS and UAV photogrammetry techniques in the study. Scanning was performed from 49 different station points using the TLS method. The 3D point cloud was created with the obtained data with JRC 3D Reconstructor software. Point cloud is combined with a precision of 0.21 cm. 386 images were obtained with UAV. 3D point cloud with an accuracy of 2.3 cm was created with Context Capture software.

Combining TLS and UAV point cloud was created in JRC 3D Reconstructor software with the hybrid method and 1.7 cm precision was obtained. Later, 20 of the 37 points that collected by the Total-station were accepted as actual coordinates and 17 points were accepted as check-points. Control points were used in the accuracy analysis.

3.1. Accuracy Analysis of 3D Models Obtained TLS and UAV

On the model created by TLS and UAV photogrammetry techniques, the accuracy of 17 Check-point positions measured by Total-station were examined. mXYZ values for TLS and UAV photogrammetry methods are shown in Table 1.

Table 1. mXYZ accuracy analysis of control points

NN	Total-Station (m)			TLS(cm)			UAV (cm)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	1002.31	1000.83	999.51	2.3	0.8	-0.5	2.6	1.8	-0.8
2	1000.82	999.91	999.59	0.8	-0.1	-0.4	-0.2	1.5	-0.4
3	996.10	996.97	999.97	-3.9	-3.0	0.0	-8.9	-11.5	-0.2
4	1000.83	998.11	997.72	0.8	-1.9	-2.3	1.4	-0.2	-2.3
5	1001.34	1002.55	998.53	1.3	2.5	-1.5	2.2	3.6	-1.8
6	1000.88	1002.60	999.80	0.9	2.6	-0.2	2.3	3.7	0.0
7	1001.56	1001.70	1000.09	1.6	1.7	0.1	2.9	3.5	0.4
8	1001.29	1001.52	1001.40	1.3	1.5	1.4	1.9	1.4	1.8
9	1001.14	1000.81	1001.42	1.1	0.8	1.4	1.3	0.8	1.5
10	1003.13	1001.06	1000.98	3.1	1.1	1.0	4.1	0.4	1.6
11	1001.31	1000.93	999.49	1.3	0.9	-0.5	2.3	1.1	-0.1
12	1000.70	1001.56	998.71	0.7	1.6	-1.3	2.2	2.2	-1.2
13	999.84	1000.93	998.98	-0.2	0.9	-1.0	-0.2	-0.3	-0.1
14	1002.93	1000.76	1001.16	2.9	0.8	1.2	3.0	1.9	1.7
15	993.84	996.33	997.53	-6.2	-3.7	-2.5	-5.2	-6.7	-2.9
16	999.41	998.25	997.79	-0.6	-1.7	-2.2	-1.8	-1.9	-1.2
17	1000.50	1003.32	1001.30	0.5	3.3	1.3	1.2	4.6	1.7

As seen in Figure 6, the mX mY mZ position accuracies for TLS and UAV photogrammetry techniques are consistent with each other.

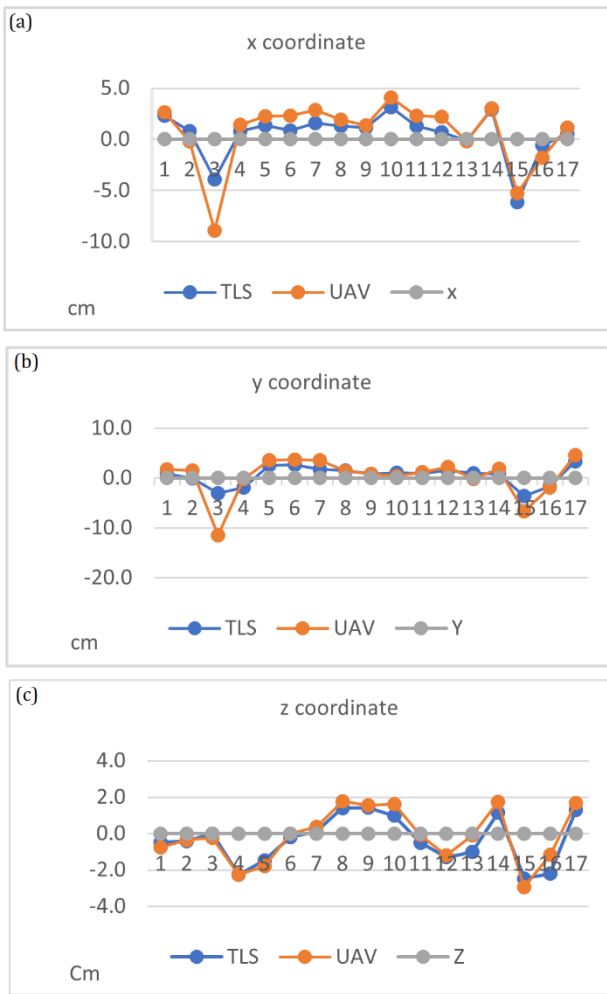


Figure 6. TLS and UAV Photogrammetry mXYZ position accuracy : (a) mX, (b) mY, (c) mZ

However, there is an inconsistency in the checkpoint of TLS and UAV data of number 3 shown in Figure 7. The reason for the error value of the point is deformation and error caused by the operator. In brief, the sharpness and location of the selected detail points are important in the georeferencing of 3D models.



Figure 7. Check-point of the number 3

3.2. Accuracy Analysis of the Model's Base Area and Volume

The area (A) and volume (V) of a flat cylindrical object are calculated with (1) and (2) equations, respectively. In the equation, r and h refer Radius and height.

$$A = 2\pi r(r + h) \tag{1}$$

$$V = \pi r^2 h \tag{2}$$

Hand Survey and Total-station measurement and Advanced Model (3D) calculations of the columns are compared and shown in Table 2.

Table 2. Base Area and Volume Accuracy Analysis

NN	R(m)	Height (m)	HAND SURVEY and TOTAL-STATION MEASUREMENT		ADVANCED MODEL (3D MODEL)	
			Base Area (m ²)	Volume (m ³)	Base Area (m ²)	Volume (m ³)
1	0.93	7.30	0.68	4.95	1.03	4.45
2	0.85	6.84	0.56	3.84	0.91	3.12
3	0.83	6.52	0.54	3.53	1.21	4.12
4	0.84	7.76	0.55	4.30	1.03	3.86
5	0.85	6.65	0.57	3.77	0.96	3.45
6	0.87	2.97	0.59	1.75	0.98	2.94
7	0.88	1.91	0.61	1.16	0.60	1.17
8	0.86	7.90	0.58	4.55	1.03	5.15
9	0.86	7.85	0.58	4.52	0.98	5.88
10	0.87	7.99	0.60	4.79	1.02	5.10
11	0.87	7.95	0.59	4.71	0.95	4.75
12	0.89	7.78	0.62	4.79	1.20	5.04
13	0.88	7.69	0.60	4.63	1.04	5.20
14	0.89	7.59	0.62	4.69	0.98	5.88
15	0.85	7.51	0.57	4.28	0.94	5.64
16	0.86	7.63	0.58	4.41	0.94	6.58
17	0.86	7.73	0.59	4.54	1.31	5.90
18	0.85	7.97	0.57	4.57	1.36	5.54
19	0.88	7.66	0.61	4.65	1.06	5.96
20	0.89	7.12	0.62	4.38	1.07	4.81
21	0.87	7.41	0.60	4.45	1.06	5.28
22	0.87	3.55	0.59	2.09	0.55	2.44
23	0.90	7.75	0.63	4.88	1.08	5.06
24	0.85	3.27	0.57	1.86	0.60	2.36
25	0.88	7.88	0.61	4.79	1.06	5.61
26	0.90	7.94	0.63	5.04	1.09	6.45
27	0.87	7.67	0.59	4.54	1.05	5.35
28	0.89	7.70	0.62	4.74	1.07	5.66
29	0.88	5.41	0.60	3.26	1.06	5.29
30	0.87	6.75	0.59	3.98	1.04	5.22
31	0.88	7.37	0.61	4.48	1.06	5.31
32	0.87	7.61	0.60	4.55	1.05	5.26
33	0.90	7.44	0.63	4.69	1.09	5.43
34	0.87	7.85	0.59	4.62	1.04	5.22
35	0.90	6.78	0.63	4.28	1.09	5.43
36	0.85	7.29	0.57	4.18	1.03	5.56
37	0.88	6.86	0.60	4.13	1.06	5.71
38	0.91	6.84	0.65	4.46	1.11	5.98
39	0.89	2.61	0.62	1.63	0.58	1.72
40	0.91	5.47	0.66	3.59	1.11	4.22
41	0.90	2.09	0.63	1.32	0.52	1.48
42	0.88	5.59	0.60	3.36	1.06	4.23
43	0.90	5.76	0.63	3.63	1.08	4.34
44	0.86	2.39	0.58	1.39	1.04	1.52
45	0.87	6.24	0.59	3.68	1.04	4.80
46	0.90	7.24	0.64	4.62	1.09	5.03
47	0.89	7.45	0.62	4.60	1.07	4.93
48	0.88	7.34	0.60	4.42	1.06	5.29
49	0.79	7.61	0.49	3.72	1.18	4.48

Only 6 columns of the 49 cylindrical columns in the study area are flat cylindrical objects. As an example, the height (h) and diameter(R) measurement of column number 7 shown in Figure 8 with the classical measurement method was measured as 1.19 m and 0.88 m, respectively. The base area of the cylindrical structure is 0.652 m² with equation (1) and the volume is calculated as 1.169 m³ with equation (2). The base area and volume of the same column from the solid model created by the photogrammetry technique were calculated as 0.60 m² and 1.17 m³, respectively.



Figure 8. Check-point of the number 7

However, there are 6 flat cylindrical-shaped columns in the study area and there are indentations and protrusions in other structures. Measuring indentations and protrusions on columns are difficult and time-consuming. The diameters and heights of the complex columns were measured in the study.

For example, the height and diameter of column number 3 were measured as 6.52 m and 0.829 m, respectively, using the classical method. The base area of column 3 was calculated as 0.54 m² with the equation (1) and the volume was calculated as 3.53 m³ with equation (2). The base area of the same column is calculated from the model as 1.21 m² and its volume as 4.12 m³ (Figure 9).

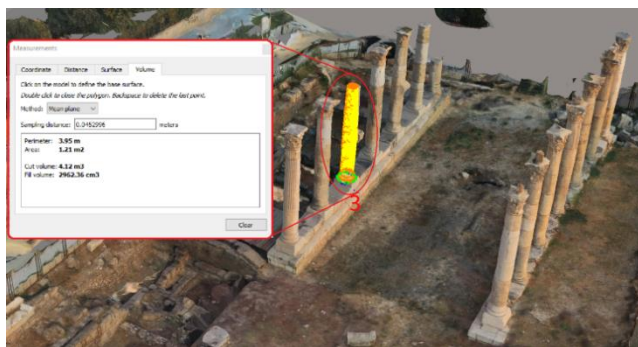


Figure 9. Check-point of the number 3

4. CONCLUSION and DISCUSSION

For the analysis of structures with different geometric shapes, their physical properties should be considered and appropriate evaluation tools should be selected. Rather than using a single method in the spatial recording of buildings, the use of hybrid methods contributes significantly to an accurate analysis. For this purpose, firstly geodesic measurement techniques, laser scanning data collection methods such as UAV photogrammetry and TLS were used for the analysis of complex structures. However, field studies made with geodesic or classical measurements cause excessive time, manpower, and increase the cost. TLS and UAV

photogrammetry use because of faster and more accurate data collection, especially with time and cost savings.

The distance between TLS and the scanned surface directly affects the resolution of the point cloud data, and the rays coming from the laser scanner to the surface to be scanned also affect the quality of the point cloud data. The TLS system also allows an object, structure, or object to be scanned from horizontal and vertical directions to obtain a point cloud image. Therefore, it is the most preferred system in the 3D modeling of buildings. However, with such ground-centered systems, the data of the upper facades of the buildings are missing. This problem has been resolved by using carrier platforms such as UAVs. By taking pictures from the air, the UAV photogrammetry method was used and a 3D point cloud of the building was produced. In this way, the data of the lateral facades of the building were collected with TLS, and the data of the upper facades were collected by UAV. Complete 3D data of the building was obtained with hybrid data collection methods and various analyses were made.

In this study, the merging process of point cloud is 0.21 cm with TLS and 2.3 cm accuracy with UAV. The precision of combining UAV and TLS data is 1.7 cm. More sensitive results were obtained with the TLS method. However, data on the superstructures of the columns cannot be obtained with TLS. This problem has been solved with the UAV photogrammetry technique and the missing areas have been completed.

As a result of the Check-point mXYZ location analysis shown in Figure 6, TLS and UAV methods have obtained values close to each other. In Figure 7, although mZ is consistent in both methods, the error value of mX and mY is higher than mZ. Therefore the location of the points are not chosen clearly and sharply. In brief, the clarity and location of the detailed points to be selected are important in geographical referencing.

The volumes of cylindrical structures with smooth geometries are not difficult to calculate in a classical way. However, only 6 out of the 49 cylinders in our study area have a smooth geometric structure. The volume of cylindrical objects with disordered geometry is difficult to calculate with classical methods. This study investigated the use of TLS and UAV photogrammetry methods in modeling complex structures, extracting metric information of the structure, and performing analysis.

REFERENCES

- Ağca M, Kaya E & Yılmaz H (2020). 3d Modeling of Cultural Heritages with UAV and TLS Systems: A Case Study on the Somuncu Baba Mosque. *Artgrid - Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 2 (1), 1-12.
- Aicardi I, Dabove P, Lingua AM & Piras M (2016). Ormancılık uygulamaları için TLS ve İHA fotogrametri teknikleri arasında entegrasyon. *iForest-Biogeosciences ve Ormancılık*, 10 (1), 41.
- Alptekin A, Çelik M Ö & Yakar M (2019a). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1 (1), 1-4.
- Alptekin A, Çelik M Ö, Doğan Y & Yakar M (2019b). Mapping of a Rockfall Site With an Unmanned Aerial Vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 12-16.
- Balletti C, Guerra F, Scocca V & Gottardi C (2015). 3D integrated methodologies for the documentation and the virtual reconstruction of an archaeological site. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5), 215.
- Bolognesi M, Furini A, Russo V, Pellegrinelli A & Russo P (2014). Accuracy of cultural heritage 3D models by RPAS and terrestrial photogrammetry. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5), 113.
- Çelik M Ö, Alptekin A, Ünel F B, Kuşak L & Kanun E (2020). The Effect of Different Flight Heights on Generated Digital Products: Dsm And Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 1-9.
- Chen X, Jia D & Zhang W (2020, August). Integrating UAV photogrammetry and terrestrial laser scanning for three-dimensional geometrical modeling of post-earthquake county of Beichuan. In International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (pp. 1086-1098). Springer, Cham.
- Comert R, Avdan U, Gorum T & Nefeslioglu H A (2019). Mapping of shallow landslides with object-based image analysis from unmanned aerial vehicle data. *Engineering Geology*, 260, 105264
- Cryderman C, Mah S B & Shufletoski A (2014). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations. *Geomatica*, 68 (4), 309-317.
- Dayal KR, Raghavendra S, Pande H, Tiwari PS & Chauhan I (2017). Ücretsiz ve karasal lazer tarayıcıdan oluşturulan 3B nokta bulutlarının karşılaştırmalı analizi. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 67.
- Dereli M A, Polat N & Uysal M (2019). Düşük maliyetli İHA ile yüksek çözünürlüklü SYM üretimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 56-62.
- Hamal S N G, Sarı B & Ulvi A (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (2), 55-60.
- Harshit Jain K & Mishra V (2020). Analysis of Survey Approach Using UAV Images and Lidar for a Chimney Study. *J Indian Soc Uzaktan Algılama*.
- Karabörk H, Göktepe A, Yılmaz H M, Mutluoğlu Ö, Yıldız F & Yakar M (2009). Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellenmesinde duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, pp.11-15.
- Makineci H B, Karabörk H & Durdu A (2020). Comparison of DEM based on Geodetic Methods and Photogrammetric Usage of UAV. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 2 (2), 58-69.
- Martínez-Carricondo P, Carvajal-Ramírez F, Yero-Paneque L & Agüera-Vega F (2020). Combination of nadiral and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain). *Building Research & Information*, 48 (2), 140-159.
- Mirdan O & Yakar M (2017). Tarihi eserlerin İnsansız Hava Aracı ile modellenmesinde karşılaşılan sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- Pepe M, Ackermann S, Fregonese L & Achille C (2016). 3D Point Cloud Model Color Adjustment by Combining Terrestrial Laser Scanner and Close Range Photogrammetry Datasets. In ICDH 2016: 18th International Conference on Digital Heritage (Vol. 10, Pp. 1942-1948). *International Journal of Computer and Information Engineering*.
- Remondino F, Spera M G, Nocerino E, Menna F & Nex F (2014). State of the art in high density image matching. *The photogrammetric record*, 29 (146), 144-166.
- Şanlıoğlu İ, Zeybek M & Karauğuz G (2013). photogrammetric survey and 3d modeling of Ivriz Rock Relief in late hittite era. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13 (2).
- Sanz-Ablanedo E, Chandler J H, Rodríguez-Pérez J R & Ordóñez C (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SFM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10 (10), 1606.
- Şenol H I, Erdogan S, Onal M, Ulukavak M, Memduhoglu A, Mutlu S & Yilmaz M (2017). 3D modeling of a

- bazaar in ancient Harran city using laser scanning technique. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Şenol H İ, Memduhoğlu A, Ulukavak M, Çetin B & Polat N (2019). Lazer tarayıcı ve insansız hava aracı kullanarak kızılköyün kral kaya mezarlarının 3 boyutlu belgelenmesi. 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Şenol H İ, Memduhoğlu A & Ulukavak M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilköyün Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.
- Ulukavak M, Memduhoğlu A, Şenol H İ & Polat N (2019). The use of UAV and photogrammetry in digital documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 17-22.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2019). Kültürel mirasın dijital dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 1-6.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit A Y & Kaya Y (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage: The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7 (3), 64-73.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit A Y & Kaya Y (2020) İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5 (1), 19-26.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2020). 3D study of modelling and animation of Kayseri Gülük Mosque. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 33-37.
- Uysal M, Yılmaz M, Tiryakioğlu İ & Polat N (2018). İnsansız hava araçlarının afet yönetiminde kullanımı. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6, 219-224.
- Yakar M & Yılmaz H M (2008). Kültürel miraslardan tarihi Horozluhan'ın fotogrametrik rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi.
- Yakar M, Orhan O, Ulvi A, Yiğit A Y & Yüzer M M (2015). Sahip Ata Külliyesi rölöve örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.
- Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkkıncı K, Kaya Y & Catin S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik rölöve çalışması ve 3boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yiğit A Y & Uysal M (2019). Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı Kullanılarak Yolların Tespiti. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 17-24.
- Yiğit A Y & Uysal M (2020). Automatic Road Detection from Orthophoto Images. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 10-17.
- Yiğit A Y, Kaya Y & Kabadayı A (2020). Comparison of Documenting Cultural Artifacts with the 3D Model in Different Software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 51-58.
- Yılmaz H M & Yakar M (2006). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (2), 43-48.



© Author(s) 2020.

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



Mobil LiDAR Nokta Bulutlarından Enerji Nakil Hatlarının Doğrusal Olmayan Modellerle Kestirimi

Mustafa Zeybek^{ID}

Selçuk Üniversitesi, Güneysınır MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Güneysınır, Konya/Türkiye.

Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Seyitler, Artvin/Türkiye.

Anahtar Kelimeler

Mobil LiDAR
Lazer Tarama
Nokta Bulutu
Enerji Nakil Hattı
Regresyon Model

ÖZ

Mobil LiDAR üç-boyutlu (3B) nokta bulutu verileri hareketli platformlar üzerinden tarama sistemleri ile temin edilmektedir. Özellikle koridor haritalama işlemleri için yoğun veriler önemli bir yer tutmaktadır. Enerji nakil hatları (ENH) ve güzergahlarının, kentsel alanlardaki dağıtım ve iletim hatlarının sürekli gözetim altında tutulması hem güvenlik hem de enerji kesintilerinin önüne geçilmesi açısından gereklidir. Mobil LiDAR nokta bulutları yoğun veri sağlayarak 3B ENH'yi tespit etme kabiliyetine sahip, ancak yoğun nokta bulutlarının işlenmesi ve enerji hatlarına yakın nesnelere gelen gürültülü noktalar gibi farklı nedenlerle istenilen hassas veri temininde zorluklar yaşanabilmektedir. Bu problemlerin minimize edilmesi amacıyla bu çalışmada, iki temel adım önerilmiştir. İlk aşamada nokta bulutlarının temsil edilmesinde yoğun nokta bulutu verilerinin voksel tabanlı algoritmayla seyreltilmesi, aday ENH noktalarının sınıflandırılması ve tespiti, ikinci aşamada ise tespit edilen bu aday hat noktalarının mesafe temelli algoritmayla kümelendirilerek her hat için doğrusal olmayan modellerin kestirilmesidir. Önerilen metodoloji ve mobil LiDAR teknolojisi, ülkemizdeki ENH'lerin envanter verisinin toplanması, yapılaşma ve bitki örtüsü risklerinin azaltılmasına katkı sağlayarak mühendislik maliyetlerinde ekonomik kazançlar sağlama potansiyeline sahiptir. ENH envanter yönetimi, iletim hatları altında kontrolsüz yapılaşmanın engellenmesi, bitki örtüsü risk azaltma ve mühendislik ölçmeleri açısından, mobil LiDAR teknolojisi yaklaşımı, özellikle kentsel alanlarda daha uygun ve yoğun veri ile daha az operatör ihtiyacına gerek duymaktadır.

Prediction of Power Transmission Lines from Mobile LiDAR Point Clouds with Nonlinear Models

Keywords

Mobile LiDAR
Laser Scanning
Point Cloud
Power Transmission Lines
Regression Model

ABSTRACT

Mobile LiDAR three-dimensional (3D) point cloud data is provided by scanning systems over mobile platforms. High-density data has a significant role, especially for corridor mapping operations. Continuous surveillance of power transmission lines (PTL) and routes, distribution, and transmission lines in urban areas is necessary for security and energy cuts prevention. Mobile LiDAR point clouds have the ability to detect 3D PTL by providing density data. Still, difficulties may be experienced in obtaining the desired precision for different reasons, such as processing dense point clouds with low accuracy and acquiring noisy points from objects close to power lines. To minimize these problems, two essential steps are proposed in this study. The first stage is the resampling of dense point cloud data with a voxel-based algorithm, the multi-class classification, and the detection of candidate PTL points. In the second stage, each line's nonlinear models are estimated by clustering these candidate line points with a distance-based algorithm. The proposed methodology and mobile LiDAR technology can provide economic gains in engineering costs by collecting inventory data on PTL, reducing construction and vegetation risks. In terms of PTL inventory management, prevention of uncontrolled construction under transmission lines, vegetation risk reduction, and engineering measurements, the mobile LiDAR technology approach requires more convenient and dense data and fewer operator needs, especially in urban areas.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Cite this article (APA);

(mzeybek@selcuk.edu.tr) ORCID ID -0001-8640-1443

Zeybek M, (2020). Mobil LiDAR Nokta Bulutlarından Enerji Nakil Hatlarının Doğrusal Olmayan Modellerle Kestirimi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 55-63.

1. GİRİŞ

Günlük hayatta elektrik enerjisinin iletim kalitesi, güvenilirliği ve kullanım güvenliğinin sağlanması için tüm ilgili enerji sektörüne yönelmektedir. Bu yönelim ise beraberinde iletim hatlarının, dağıtım ağının kullanıcılara erişimi adına genişletilmesini ve hatlardaki dayanımın artırılarak potansiyel arızaları en aza indirme gayretini getirmektedir.

Bu dağıtım ve havai iletim hatları sürekli atmosferik etkiye maruz kalmaktadır. Ortam değişimlerinin en belirgin etkileri hatların fiziksel yapısında değişime sebep olabilmektedir. Bu etkiler doğrultusunda kentsel alanlarda bitki örtüsünün ve yapılaşmanın varlığı da düşünüldüğünde, risk faktörünün artması kaçınılmazdır.

Enerji nakil hatlarının (ENH) diğer nesnelere mesafesinin korunması için belirli koşulları vardır (Demir, 2013). Bu koşulların yerine gelmesi için ve bir elektrik hattının güvenli bir ortam sağlayarak güvenilir bir şekilde çalışması, koridorların düzenli olarak izlenmesi, oluşan risklerin ortadan kaldırılması ve gerekli tedbirlerin alınmasıyla mümkündür.

Geleneksel yöntemler, enerji sistemleri tabanlı belirli katsayıların kullanılmasıyla belirli limitlerin sağlanması için sehim miktarlarının hesaplanmasına katkı sunar. Ancak bu tür analiz ve ölçümler kestirime dayalıdır veya güncelliğini kaybetmektedir. Diğer bir yöntem ise yersel ölçmelerdir ve sehim miktarlarının hesaplanmasında aktif bir rol üstlenir. Yersel ölçmeler, total station ölçmelerine dayalı trigonometrik yöntemlerle yükseklik ölçmeleriyle yapılmaktadır. Yersel ölçmeler genellikle yerinde arazi ölçmeleri zaman ve maliyet gerektiren işlemlerdir.

ENH'nin ve direk yerlerinin LiDAR nokta bulutu verileri yardımıyla kestirimi konusunda çalışmalar literatürde yer almaktadır. Genel olarak aşamalı yöntemler uygulanarak bu bilgilerin otomatik çıkarımı için farklı öneriler sunulmuştur. Yaygın olarak yükseklik farkı ve eğim kriterlerini uygulayarak noktaların sınıflandırılması yapılır. Ardından, yükseklik, konumsal yoğunluk, boyut ve şekil kombinasyonuna göre farklı filtrelemeler ile her tekil enerji iletim hattının çıkarımı yapılmaktadır. Çalışmalarda güzergah tespiti veya görüntü işleme temelli yöntemlerde kullanılmaktadır. Bunlar Hough dönüşümü ve Öklid mesafesi temelli kümeleme yöntemleriyle de desteklenir ve üç boyutlu (3B) bir ENH, düzlemsel ve düşey eksenlerde hiperbolik fonksiyonlar katener eğrisiyle de modellenmektedir (Guan vd., 2016).

Diğer bir çalışma da, nokta bulutlarının fiziksel şekillerine, geometrik özelliklerine ve aralarındaki topolojik ilişkilerle dayalı olarak demiryolu koridorunun temel bileşenlerinin tanımlanması amacıyla yapılmıştır (Arastounia, 2015). Geliştirilen algoritma ile iki ray hattı, direk, konsol, kontak hattı, katener hattı ve dönüş akımı hattı gibi demiryolu

altyapısının tüm temel bileşenlerinin tanımlanması üzerinedir. Sonuçlar hem nesne seviyesinde hem de nokta bulutu seviyesinde yüksek doğrulukla elde edildiğini göstermiştir.

Elektrik enerjisi iletimi ve bakımı, enerji endüstrisi için çok önemli olduğunu vurgulayan çalışmalardan bir diğeri de insansız hava araçları (İHA) tarafından elde edilen nokta bulutu verilerinden hesaplanan düzenli şebeke özelliklerine dayalı olarak elektrik enerjisi iletim tesislerinin üç boyutlu (3D) ve verimli bir şekilde çıkarılması ve sınıflandırılması için geliştirilmiş metodolojilerdir (Zhang vd., 2019).

Havasal LiDAR teknolojisi kullanılarak yüksek voltaj iletim hatlarının otomatik izlenmesine yardımcı olacak yöntemlerde literatürde yer almaktadır (McLaughlin, 2006). LiDAR verileri önce otomatik olarak iletim hattı, bitki örtüsü veya yüzey olarak sınıflandırılır. Çıkarılan iletim hattı veri noktaları daha sonra verilerin yerel afin modelleri kullanılarak ayrı aralıklara bölünür ve modelleme gerçekleştirilir.

Diğer bir havasal LiDAR çalışması (Sevgen & Canaz, 2016), nokta bulutu verilerinden elektrik nakil hatlarının modellenmesinde Temel Bileşenler Analizi, Random Sample Consensus (RANSAC) ve en küçük kareler yöntemi kullanılmış, bu sayede elektrik nakil hatları modellenmiştir.

Havasal LiDAR verilerinden ENH'nin otomatik olarak tespit edilmesi için geliştirilen diğer bir algoritma ise (Erbaş, 2016) ArcObject ve C# programlama ortamları ile ArcGIS yazılımı eklentisi (ArcGIS add-in) olarak geliştirilmiştir.

Lazer tarama sistemine sahip İHA sistemlerinden elde edilen veriler görsel, noktasal ve model bazlı mutlak ve rölatif doğruluk temelli istatistiksel incelemeler sonucunda büyük ölçekli harita üretimi (1/1000) gereksinimlerini karşıladıkları ve arazi bütünlemesi entegrasyonu ile rahatlıkla iki boyutlu haritalama çalışmalarında ve üretiminde kullanılabilecekleri literatürdeki çalışmalarda tespit edilmiştir (Sefercik vd., 2018). Bu ölçme teknikleri de alternatif veri toplama teknikleri olarak düşünülmelidir ve ENH modellerinde aktif rol alma potansiyeline sahiptir.

Enerji nakil hatları ve bu hatlara yakın nesnelere otomatik tespiti için potansiyel risk durumlarının konumsal analizi, enerji nakil hattı kontrol ve bakımlarının etkili bir biçimde yapılması için yapılan çalışmalar ve geliştirilen algoritmalar da konumsal doğruluk açısından umut vericidir (Muş, 2019).

Sonuç olarak LiDAR sistemlerinin yoğun nokta bulutu verilerinin elde edilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Ekercin & Üstün, 2004). Sistemin özellikle enerji nakil hatlarına ait detay alımı ve modellendirilmesinde, ormancılık ve yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgelere ait pasif görüntülerden etkili verilerin temin edilemediği alanlarda alternatif ve avantajlı bir ölçme tekniği olduğu belirtilmiştir (Ekercin & Üstün, 2004).

Bu çalışmada önerilen yöntem, mobil LiDAR (MLT) sistemleriyle elde edilen verinin ENH sistemlerinin modellenmesinde kullanılmasını, istatistiksel yöntemlerle modellenmesini ve veri modellerinin hem daha doğru hem de yarı-otomatik bir şekilde yapılmasını amaçlamaktadır.

Bu makale aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. Öncelikle temin edilen MLT verisi hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra ölçme sistemi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Verilerin işlenmesinde gerekli ön işleme adımlarından bahsedilmiştir. ENH sistemlerinin yer aldığı yer üzeri noktalarının filtrelenmesi ve sınıflandırılma aşamaları incelenmiştir. Verilerin daha hızlı işlenebilmesi ve stabil olması açısından seyreltme işlemi uygulanmıştır. ENH telleri teker teker çıkartılarak bu veriler farklı eğri algoritmaları ile matematiksel model fonksiyonlara uydurma işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar son bölümde verilmiş ve tartışma bölümüyle çalışma sonlandırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Konya'da yer alan bir kentsel alan içinde bulunan ENH'ler bu çalışmada test verisi olarak ele alınmıştır.

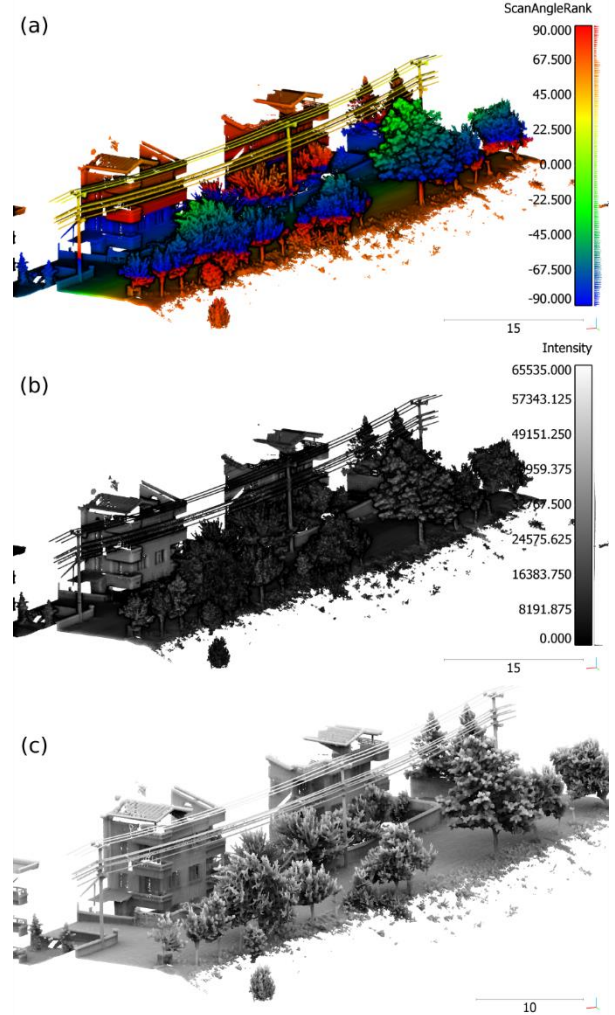
Bu çalışmada RIEGL VMX-450 MLT sistemi kullanılmıştır. Bu ölçme cihazı ile yüksek sürüş hızlarında dahi yoğun ve yüksek doğrulukta nokta bulutları elde etmek mümkündür. Bunun yanında, nokta bulutları, yüksek ölçme hızında sağlanır ve farklı özelliklere sahiptir. Küresel konumlandırma uydu sistemi ve ataletsel konumlandırma sistemi, ölçü birimi (GNSS/INS/IMU) ile araç izi bilgisini de sunmaktadır.

Araç üzerine monte edilen ölçüm sistemi, aerodinamik yapıya uygun olarak dizayn edilmiş bir koruyucu kapağın altına yerleştirilmiş iki adet Riegl VQ-450 lazer tarayıcısını barındırır. Komple sistem, atalet ölçümü ve GNSS ekipmanı ile bütünleşiktir. Opsiyonel olarak tasarlanmış bir kamera platformu, altı adede kadar dijital kameranın kolay entegrasyonuna ve kurulumuna da müsaade eder.

Pratikte ve bilimsel çalışmalarda yüksek doğruluk ve yüksek çözünürlüğe ihtiyaç duyulan işlemlerde hızlı 3D veri toplama sayesinde, koridor haritalama amaçlı, yol ve demiryolu koridorlarının, suyollarının, limanların ve falezlerin haritalanması gibi çeşitli uygulamalar için kullanılan bir ölçme sistemidir. Bunun yanı sıra hali hazır, kentsel alanların haritalandırılması, sokak sağlıklaştırması gibi işlemlerde bu sistemler kullanılabilir.

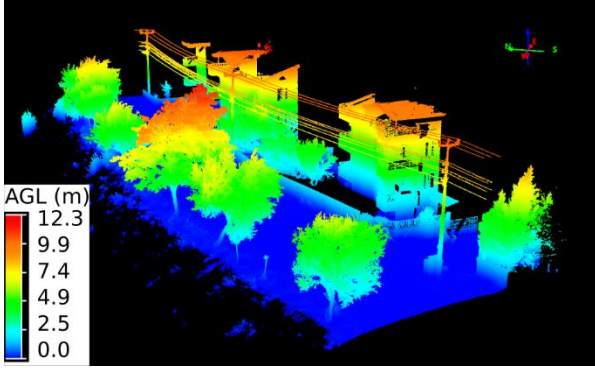
Özetle, RIEGL VMX-450 araç üzeri MLT sistemi, tam entegre ve kalibre edilmiş lazer tarayıcılar, IMU/GNSS ekipmanı, isteğe bağlı kamera alt sistemi ve ilgili RIEGL yazılım paketlerinden oluşmaktadır. Entegre IMU/GNSS, sistemi sayesinde Global koordinat sisteminde doğrudan georeferanslamayla nokta bulutlarını istenilen projektif düzlemsel koordinat sistemine dönüştürülmesine de imkan sağlar.

Sistem kalibrasyonu, bütünleşik bir sistem olduğundan sistem çıkarıldığında dahi bir sonraki çalışmalar için değerlerini koruyabilir şekilde tasarlanmıştır. Üzerindeki VQ-450 tarayıcıları, 550.000 ölçüm hızında düşük gürültülü, boşluksuz 360° profil ölçümüne imkan sağlar (Şekil 1). Sinyal işleme teknolojisiyle her noktaya ait kalibre edilmiş genlik ve yansıma değerlerini de kaydedebilir.

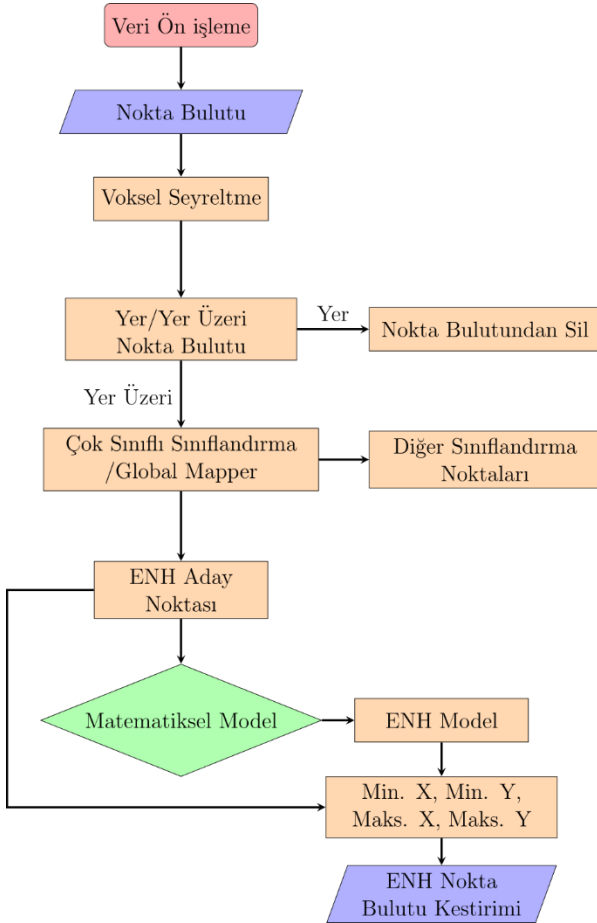


Şekil 1. MLT verisi, a) tarama açısı, b) yoğunluk (intensity) değerli veri, c) görselliği artırılmış nokta bulutu

RIEGL VMX-450 MLT sistemi kamera entegrasyonunu zaman damgalama işlemini yüksek hassasiyette uygulamaktadır. Veri toplama sistemi ölçme anında operatör kontrolü ile sağlanır. Arazi ölçmeleri tamamlandıktan sonraki aşamada, depolanan ham veriler RIEGL yazılımları ile sonra işleme (post-process) yapılarak referans koordinatlı global veya lokal koordinatlarla farklı yazılımlara uygun formatta aktarma yapılabilir ve 3. parti yazılımlarda bu nokta bulut verileri işlenebilir. Çalışma alanına ait elde edilmiş bir veri örneği sunulmuştur (Şekil 2). Bu çalışmada önerilen işlem adımları ise Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. MLT sistemi ile elde edilmiş nokta bulutları örneği, (Yükseklik değeri, yer üzeri yüksekliklerini ifade etmektedir.)



Şekil 3. Önerilen metodoloji iş akışı diyagramı

Bu çalışmanın temelini oluşturan hatların modellenmesi aşamasında ise istatistik yazılımı istatistiksel hesaplama için R dilinde yer alan lineer olmayan 3 farklı yöntem uygulanmıştır. Bu amaçla, regresyon çerçevesi içinde polinom regresyon, kübik eğri (spline) ve toplam ekleme model (GAM) fonksiyonlarını içeren farklı paketler kullanılmıştır. ENH'ler, MLT nokta bulutu verileri kullanılarak, doğrusal olmayan fonksiyonlarla modellenmesine uygunluğu ve farklı fonksiyonlara genel bir bakış sağlanmıştır.

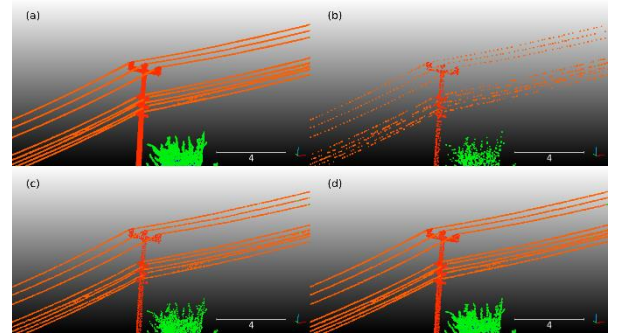
2.1. Veri Ön İşleme

Nokta bulutu verileri yüzey yansımaları ve üst üste bindirmeli noktaları barındırabilir. Bunun temel nedeni yüzey yansımaları ve oluşturduğu gürültülü noktalar ve aynı bölgeden ikinci geçiş sebebiyle oluşan bindirmeli noktalardır. Bu verilerin öncelikle nokta bulutlarından temizlenmesi gerekir. Bunun yanı sıra bilgisayar donanımlarının gücü sonsuz değildir. Bu nedenle bilgisayar performansının en iyimser şekilde değerlendirilmesi için nokta bulutlarında seyreltmelerin yapılması veri işlemede zamandan tasarruf sağlar. Gürültülü noktaların temizlenmesi için istatistiksel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da istatistiksel yöntem kullanılmıştır (Rusu & Cousins, 2011). Üst üste bindirme noktaları için de tanımlanan minimum komşuluk mesafesi 0.0001 olarak tanımlanmış ve aynı koordinat değerine sahip noktalar filtrelenmiştir.

2.2. Voksel Seyreltme

Voksel tabanlı seyreltme işlemi, orijinal nokta bulutlarını geçici olarak, nokta bulutu içinde mevcut olan önemli detayları koruyarak veri boyutunu önemli ölçüde azaltan düzenli mesafeye sahip (Hücre genişliği: X, Y, Z eksenlerinde) alt örneklenmiş noktaların oluşturulmasıdır. Voksel seyreltme işleminde iki yöntem mevcuttur: birincisi voksel (hücre) merkezinin hücre içine düşen noktaların momentleri hesaba katılır ve hesaplanan hücre merkezinde yeni bir nokta oluşturulur. Diğer yöntem ise ilk yönteme benzer ancak yeni nokta üretmek yerine momente yakın en yakın komşu noktayı *knn* komşuluk yöntemine göre atar ve hücre merkezini temsil eden nokta oluşturulur.

Voksel seyreltme algoritması ile hem noktalar seyreltilmiş hem de objelerin karakteristik yapısı diğer algoritmalara göre korunmuştur (Şekil 4). Nokta bulutu seyreltme işlemi nokta bulutlarının veri işleme performansını arttırmaktadır. Seyreltme işlemlerinde uygulanan algoritmalar için PDAL kütüphanesinde yer alan fonksiyonlardan faydalanılmıştır (Şekil 5) (Contributors, 2018).



Şekil 4. Nokta bulutlarının seyreltilmesi, a) orijinal nokta bulutları, b) rastgele seyreltme, c) poisson dağılımı ile seyreltme, d) voksel temelli seyreltme.

Voksel Seyreltme	<pre>["girdi.las", { "type":"filters.voxelcentroidnearestneighbor", "cell":0.03 }, "cikti.las"]</pre>
Rastgele Seyreltme	<pre>[{ "type": "readers.las", "filename": "girdi.las" }, { "type":"filters.decimation", "step": 10 }, { "type":"writers.las", "filename":"cikti.las" }]</pre>
Poisson Seyreltme	<pre>["girdi.las", { "type":"filters.sample", "radius":0.1 }, "cikti.las"]</pre>

Şekil 5. Seyreltme amaçlı kullanılan PDAL komutları (Ubuntu 18.04, PDAL v. 2.0.0)

2.3. Sınıflandırma

Veri ön işleme sonrasında elde edilen nokta bulutlarından ENH güzergâhlarının tespit edilmesinde kolaylık sağlayan yer ve yer üzeri noktaların bulunması, sınıflandırma aşamasını oluşturmaktadır (Şekil 6). ENH geçiş güzergahları, dağıtım hatlarına göre farklı yüksekliklerde olabilir. Bu nedenle belirli limit değerlerinin nokta bulutlarında ön parametre olarak tespit edilmesi önemlidir.

ENH'lerin nokta bulutlarından çıkarımı için öncelikle yer ve yer üzeri noktalar olarak sınıflandırılması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde yaygın sınıflandırma yöntemleri bulunmaktadır. Günümüzde ayrıca etkili filtreleme algoritmaları farklı araştırma gruplarınca uygulanmakta ve geliştirilmektedir. Bu çalışmada sınıflandırma amaçlı yer noktaları ve yer üzeri noktalar Global Mapper yazılımı ile sınıflandırılmıştır. Eğrilik sapmalarına bağlı temel yer sınıflandırma algoritması, noktaları küçük bir yerel alan içindeki komşularıyla karşılaştırma tekniğine dayanarak sınıflandırma gerçekleştirilir. Temel çerçeve boyutu parametresi ile sınıflandırma penceresi ve bu alanın boyutu tanımlanarak kestirim ve sınıflandırma bu alan içinde yapılır. Bu parametreler için daha küçük mesafe değerleri yüksek çözünürlük sağladığında daha yüksek doğruluk sağlar, ancak daha yüksek çözünürlüklü

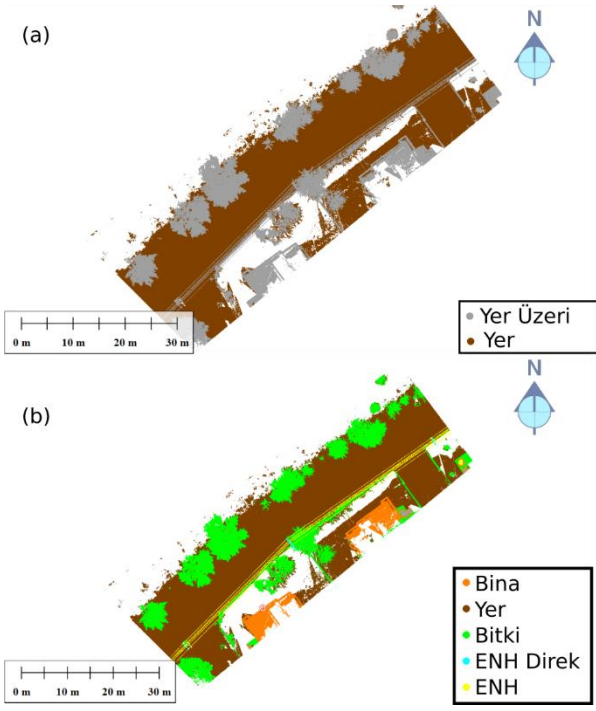
LiDAR verileri ve daha uzun işlem süresi gerektirir. Düşük çözünürlüklü verilerle çalışanlar daha yüksek bir değer tanımlanmalıdır. Her bir çerçeve içine en az 3 LiDAR noktasını içeren bir değer önerilir; daha büyük bölme boyutları işleme hızını artırır, ancak aynı zamanda doğruluğu da azaltır. Veri düşük yoğunlukluysa (metrekare başına 1.5 noktadan az) varsayılan değer 2 metre veya 3 nokta aralığıdır. Nokta arasındaki mesafe, yüklenen nokta bulutu verilerinden hesaplanır. Hesaplanan ortalama nokta çözünürlüğü, *las* formatının meta veri istatistiklerinde görüntülenebilir. Daha sonra yine Global Mapper yazılımı kullanılarak ENH aday noktaları ve direk noktaları tespit edilmiştir. Yazılım yüksek oranda sınıflandırma doğruluğu yüksek olsa da özellikle direklerin tellerle birleşim noktasında veya ağaçların yoğun olarak bulunduğu noktalarda yanlış sınıflandırma uygulama potansiyeline sahiptir. Bu durum özellikleri benzer olan karmaşık özellikler için kaçınılmaz bir durumdur. Günümüzde henüz bu sınıflandırma işlemleri mükemmel bir sonuçla üretebilecek bir algoritmanın bulunmaması nedeniyle manuel müdahaleler her zaman gerekli görülmüştür. ENH modellerinin maksimum doğrulukta tespit edilmesi için sonuç verileri ayrıca düşey kesitler alınarak manuel işlemlerle iyileştirilmiştir. Bu sayede ENH tel ve direkleri %100 doğruluğa yakın bir sonuçla sınıflandırılmıştır.

Enerji hattı sınıflandırma algoritması, nokta bulutlarında uygun hat tespiti için minimum mesafede olan noktaları enerji hattı olarak sınıflandırmak için veri segmentlerini (bölmeler) en uygun çizgi değerleriyle karşılaştırır. Bu verilerin en az 20 nokta/m² noktalı nokta bulutlarında uygulanması önerilir. MLT bu verilerin yüksek yoğunlukta elde edilmesine uygun bir tekniktir.

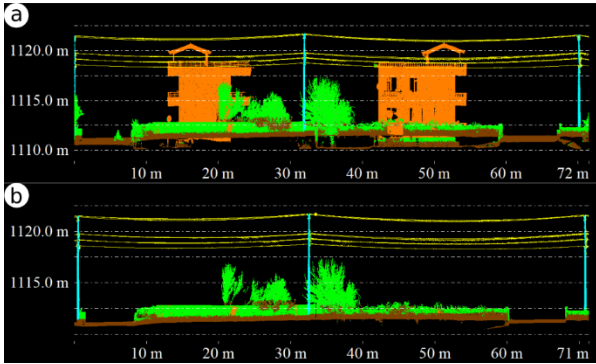
2.4. ENH Kestirimi

ENH koridoru profil kesit yöntemiyle manual olarak çıkarılmıştır. Global Mapper programı yardımıyla sınıflandırılan nokta bulutları, direk noktalarının yerlerinin tespitini kolaylaştırmıştır. Bu sayede 2.5 m genişlikte yer alan ENH güzergahı belirlenmiştir. ENH hatları ise manual olarak tespit edilen güzergah üzerinde kesit alınarak, ENH hat adayları Global Mapper yazılımında tespit edilmiştir (Şekil 7).

Hat aday noktalarının belirlenmesinden sonra tellerin tek tek sınıflandırılması ve aralarda kesinti var ise bu kesintilerin modelleme ile doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekir. Bunun için mesafe temelli sınıflandırma algoritmaları bu tür sınıflandırma işlemi için uygun sonuçlar vermektedir. Gürültülü yoğunluk tabanlı konumsal kümelenebilirlik algoritmaları (DBSCAN) algoritması bu çalışmada ENH'lerin tekil olarak çıkarılmasında kullanılmıştır (Ester vd., 1996).



Şekil 6. Sınıflandırma işlemi, a) yer/yer üzeri sınıflandırma, b) çok sınıflı sınıflandırma işlemi



Şekil 7. ENH kestirimi, çok sınıflı sınıflandırma, a) sınıflandırılmış ham veri, b) ENH güzergahı kesiti

ENH'lerin modellenmesi için hassas bir şekilde birbirinden ayrılması ve direklerle bağlantısının olmaması önemlidir. Bu nedenle hatların sınıflandırılması ve direklerden ayrılması yüksek doğrulukla yapılması gerekir. Bunun yanında hatların yoğunluklarının düzenli olması hem DBSCAN parametrelerinin farklı çalışmalarda benzer kullanılmasını hem de sonuçların anlamlı çıkmasında etkilidir. Voksel seyreltme aşamasının katkısı yine bu noktada önemlidir.

3. HATLARIN MODELLENMESİ

İstatistiksel olarak doğrusal olmayan regresyon modelleri, en küçük kareler yöntemiyle elde edilemeyen modeller için kullanılan yöntemlerdir. Bunun yanında, doğrusal olmayan bu modeller, kestirim modellerinin doğrusal bir kombinasyonunun olmaması ya da farklı dönüşüm

yöntemleriyle ifade edilemeyen modelleri kapsamaktadır.

Doğrusal olmayan bu modeller, sayısal optimizasyon gerektirdiğinden dolayı daha zor ve hesaplama açısından daha yoğundur. Bu nedenle, standart regresyon modellerinde en son tercih edilen modeller bu modellerdir. ENH modellerinin bu tür fonksiyonlara benzemesi nedeniyle bu algoritmaların kullanılması ise zorunludur. Doğrusal olmayan ve yaygın olarak kullanılan üç farklı algoritma (polinom, spline ve GAM) burada uygulanmıştır.

3.1. Polinom regresyon

Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki, bu çalışmada da bahsedildiği üzere mutlak suretle doğrusal olması gerekmez. ENH modelleri bu modellere örnek olarak verilebilir. Yatay (X, Y) bileşenlerin artışı ile veya azalışı Z bileşenini her zaman pozitif veya negatif yönde etkilemez. Bu doğrusal olmayan modellerin geçerli olduğu pek çok alan bulunabilir.

Polinom regresyon, bir regresyon denkleminde polinom terimleri dahil etmeyi içerir (Bruce vd., 2020). Polinom regresyon, 1815'te Gergonne tarafından yazılan bir makale ile regresyonun gelişimine dayanır (Bruce vd., 2020). Aşağıdaki eşitliğe göre, Y bağımlı değişkeni ile bağımsız X değişkenleri arasındaki ikinci dereceden bir regresyon aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + e \quad (1)$$

Polinom regresyonun doğrudan ENH modellerinde kullanılabilmesi için her bir telin sınıflandırılması ve belirli bir sınıfa atanmış olması gerekmektedir.

3.2. Kübik Eğriler (Spline)

Polinom regresyon, doğrusal olmayan bir modelde yalnızca belirli bir miktarda eğrilığe sahip model üretebilir. Kübik, kuadratik polinom gibi yüksek dereceli terimlerde, genellikle regresyon denkleminde istenmeyen "dalgalanmaların" oluşmasına yol açabilir (Bruce vd., 2020). Doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesinde alternatif bir yaklaşım, spline'ların kullanılmasıdır. Spline'lar, sabit noktalar arasında sorunsuz bir şekilde enterpolasyon modelini kurmak için çözüm üretebilir. Bir diğer spline tanımı ise bir dizi parçalı sürekli polinom olarak değerlendirilmesidir.

Spline'ların formülasyonu, polinom regresyonundan çok daha karmaşıktır; istatistiksel yazılımlar genellikle bir spline yerleştirmenin ayrıntılarını ele alır (Bruce vd., 2020). R paketi "splines", regresyon modelinde bir b-spline (temel spline) terimi oluşturmak için bs fonksiyonunu içerir (Team, 2019). Spline fonksiyonu için iki parametrenin belirtilmesi gerekir: eğrinin derecesi

ve düğüm noktalarının (knots) konumu (Perperoglou vd., 2019). Bu durumda, tahmin edici modele kübik spline (derecesi, 3) kullanılarak dahil edilir. Varsayılan olarak, *bs* fonksiyonu sınırları düğüm olarak kabul eder; bu çalışmada ise düğümler (knots), alt çeyrek (lower quartile, 0.25), orta çeyreklik (median quartile, 0.5) ve üst çeyreklikler (upper quartile, 0.75) tanımlanmıştır.

3.3. Genelleştirilmiş Toplamsal Model (GAM)

Katmanlı (Toplamsal) modeller, regresyon problemleri için esnek modelleme araçları olarak sunulmaktadır (Bruce vd., 2020). Bu modeller regresyon ilişkisinin doğrusal olduğu varsayıldığı genelleştirilmiş doğrusal modeller ile regresyon ilişkisinin belirtilmemiş kaldığı rastgele ormanlar gibi daha karmaşık modeller arasında yer almaktadır (Bruce vd., 2020). Eş değişkenlerin (kovaryant) sonuçlar üzerindeki etkisini açıklayan sürekli (smooth) fonksiyonlar kolaylıkla yorumlanabilir (Şenel vd., 2014). Değişken seçimi, bu model sınıflarında teknik olarak bir sorundur; artırma (boosting) yöntemleri, bu sorunu çözmek için alternatif bir yöntemdir (Everitt & Hothorn, 2010).

Aşağıdaki denklemde gösterilen çoklu doğrusal regresyon modeli incelendiğinde, burada bağımlı değişken (y) ve bir dizi açıklayıcı değişken ($x_1 \dots x_n$) vardır, artık hatalar (ε) ve varsayılan model,

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \varepsilon \quad (2)$$

olarak ifade edilir.

Toplam modeller, doğrusal fonksiyonun ($\beta_i x_i$) yerine pürüzsüz parametrik olmayan bir fonksiyon (g) eklenir ve aşağıdaki gibi gösterilir,

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n g_i x_i + \varepsilon \quad (3)$$

burada g_i dağılım grafiği düzleştiricilerinden biri olabilir veya araştırmacının seçmesi halinde, belirli açıklayıcı değişkenler için doğrusal bir fonksiyon da olabilir (Everitt & Hothorn, 2010).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

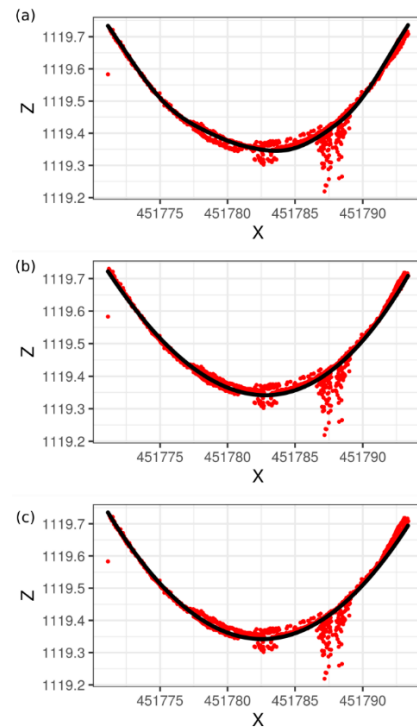
Yoğun nokta bulutu verisi üzerine yapılan analizler sonucunda ENH hatlarının kestirimi kolaylaşmış ve yoğun veriler üzerinden yüksek doğrulukta kestirimler yapılmıştır. MLT sistemi veya yüzeylerden kaynaklı doğrusal olmayan hatlar üzerindeki gürültülü noktalar temizlenerek daha iyi kestirimler yapılmıştır (Şekil 8).

Uygulanan seyreltme algoritması da bilgisayar performansını iyimser hale getirmiş, daha uzun koridor ve bölgelerin haritalandırılmasına katkıda bulunmuştur (Tablo 1).

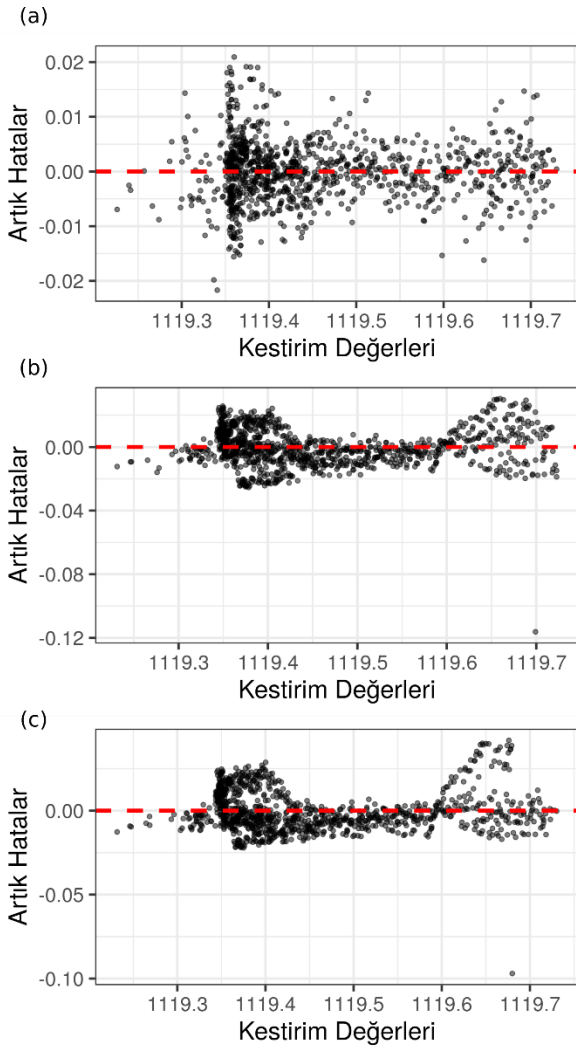
Tablo 1. Kestirim modellerinde zamansal performans (Dosya okuma/yazma ve grafik çıktılarını elde edilmesi dâhil)

Matematiksel Model	Zaman (sn)
GAM	6.46
Kübik Eğriler (Spline)	4.25
Polinomal	4.29

Uydurulan (kestirilen) modeller sonucunda elde edilen artık hatalar incelendiğinde yüksek uyumsuz ölçüler olduğu tespit edilmiştir. Bu hem atmosferik koşullar, hem de çevresel etki ve obje yapısının yansıtma özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Uygulanan modellerin gerekli olduğu buradaki sonuçlardan anlaşılmaktadır. $\pm 10-12$ cm dolaylarında maksimum seviyelerde artık hataların varlığı tespit edilmiştir. Ancak, belirli sistematik artık hatalar tespit edilmemiştir. Raslantısal artık hatalar ve lokal bazı yüksek uyumsuz noktaların varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 9). Artık hataların yanı sıra modelin uyum seviyesi için R^2 , veri noktalarına uyan model hattı etrafındaki dağılım değerlendirilmiştir. Aynı veri seti için farklı model uygulanan, daha yüksek R^2 değerleri, gözlemlenen veriler ile uydurulan değerler arasındaki daha küçük farklılıkları temsil eder. Bu durumda üretilen modelin veri ve gözlemlerle uyumlu olduğunu gösterir. R^2 ayrıca bir modelin açıkladığı bağımlı değişken varyasyonunun yüzdesini ifade etmektedir.

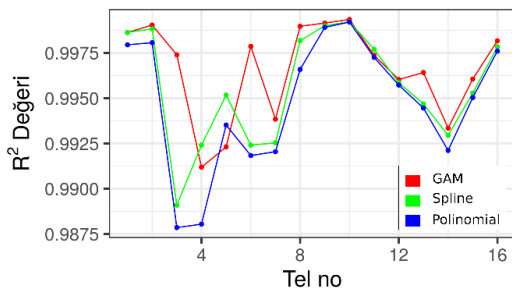


Şekil 8. Tek tel modeli kestirimi (kırmızı noktalar ölçü, siyah çizgi kestirimi ifade etmektedir.), a) GAM, b) kübik eğrisel, c) polinom (2. derece)



Şekil 9. Artık hatalar a) GAM, b) Spline, c) Polinom

Uygulanan farklı fonksiyonlara ait R^2 değerleri Şekil 10'da verilmiştir. Bu grafikten de anlaşılabilceği üzere 3 fonksiyon birbirine oldukça yakın R^2 değerlerine sahiptir. GAM, R^2 değerlerinin diğer fonksiyonlardan elde edilen R^2 değerlerine göre daha yüksek yüzdeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu durum GAM modellerinin ENH'leri çok iyi temsil ettiği anlamı taşımamaktadır. Yalnızca modelin gözlemlenen nokta verilerine iyi uyum sağladığı söylenebilir. Diğer fonksiyon ise spline modelinin polinomal fonksiyona göre verilere daha iyi uyum sağladığı söylenebilir.



Şekil 10. Her bir tel kestirim modelindeki R^2 uyum değeri

Sonuç olarak, ENH modellenmesinde MLT, yüksek yoğunlukta ve doğrulukta veri üretebilmiştir. Versatil bir teknoloji olarak farklı departmanlara ve kullanıcılara hizmet etme potansiyeli olan bir teknolojidir. Ancak, nokta bulutu verilerinden anlamlı bilgilerin çıkarılmasında sofistike yöntem ve algoritmaların kullanılması gereklidir. Bunun yanında tecrübeli ve kalifiyeli personelin görev alması elzemdir. Ayrıca ileri sınıflandırma tekniklerinin gerçekleştirilmesi ile sınıflandırma işlemlerinin otomatikleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın kısıtlı bölümü bu noktadır ve gelecek çalışmalarda bu modüllerin üretilmesi çalışmaları devam etmektedir. Gelecek çalışmalar arasında da noktasal seyreltme işlemlerinin etkileri ayrıca araştırılabilir. Ancak bu konuda genel görüş metrekarede 20 nokta ve üzeri LiDAR noktalarının olması yeterli görülmektedir. MLT sistemi bu konuda oldukça yeterli ve yüksek yoğunlukta veriyi üretmiştir. Ancak bu nokta bulutlarının efektif bir şekilde işlenmesi için donanım özelliklerinin de aynı oranda iyi kapasitede olması beklenir. Bu çalışmada ise eğri parametrelerinin nokta seyreltme işlemlerinin kestirim doğruluğuna etki etmediği varsayılmıştır.

Önerilen yöntemin enerji kurumlarına olumlu bir katkı ve bakış açısı sağlayacağına inanılmaktadır. Ancak sistemi oluşturan donanımların ve sonradan işleme yapılacak bilgisayar donanımlarının ilk maliyetleri oldukça yüksek olduğu reddedilemez. Ancak, bu durumun, enerji ile ilgilenen kurumların MLT teknolojisine bakış açısını olumsuz etkilememelidir.

Bu makale, MLT'nin kentsel alanlarda ENH modellerinin karmaşık yapıda sağladığı ve yoğun detay barındıran nokta bulutlarından çıkarılabilmesi için bir metod sunmaktadır.

Önerilen yöntem özellikle kentsel alanlarda enerji iletim hatlarının envanterinin oluşturulmasına, bitki örtüsü risk analizinin yapılmasına ve ENH altlarında kontrolsüz yapılaşmanın tespitine yönelik katkılar sunmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu makalede, kentsel alanlarda bulunan enerji nakil hattı iletim koridor noktalarının MLT nokta bulutu verilerinden hızlı bir şekilde çıkarılması ve lineer olmayan modellerle kestirimi üzerine bir yapılmış bir araştırmayı içermektedir. Önerilen metodolojinin verimliliği ve doğruluğu test verisi üzerinde araştırılmıştır ve iyi uygulama sonuçlarının elde edildiği görülmüştür. Özellikle modelleme aşamasında üç farklı doğrusal olmayan yöntem incelenerek modelleme doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda ve analizler sayesinde burada önerilen algoritmanın aşağıdaki yönlere daha da iyileştirilmesi, geliştirilmesi ve optimize edilmesi gerektiği tespit edilmiştir;

1) Uygulamada kullanılan nokta bulutu verilerinin sınıflandırılmasının daha da iyileştirilmesi için geometrik ve topolojik

algoritmaların entegre edilmesi, modelleme doğruluğunu arttırabileceği, bölgesel ENH hat noktalarının olmadığı durumlarda kestirimin iyileştirilmesi gerekmektedir,

2) ENH noktalarının düşey düzlemde izdüşümü belirli dereceden modellerle elde edilmiştir. Uzun mesafe iletim koridorundaki güç hattının nokta bulutu veya havasal LiDAR verileri için hala daha fazla analiz edilmesi gerekebilir ve bazı hataları içinde barındırabilir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda mesafe ve nokta sayısından bağımsız sağlam (robust) yöntemlerin geliştirilmesi önemlidir. Son olarak bu çalışmada yersel herhangi bir ölçme (total station) kullanılmamıştır ve gelecek çalışmalarda model doğruluklarının araştırılması için bu ölçmelerin yapılması kestirim modellerinin mutlak doğruluk değerlendirilmesinde önem teşkil etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde arazide ölçme asistanlığını ve RIEGL VMX-450 sistemini sağlayan Koyuncu LiDAR Harita Firmasına (<http://www.lidarharita.com/>) desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada kullanılan R kodlarına ve test verisine (<https://github.com/mzeybek583/ENHR>) sayfasından erişilebilir.

KAYNAKÇA

- Arastounia M (2015). Automated Recognition of Railroad Infrastructure in Rural Areas from LIDAR Data. *Remote Sensing*, 7 (11).
- Bruce P, Bruce A & Gedeck P (2020). *Practical Statistics for Data Scientists: 50+ Essential Concepts Using R and Python*: O'Reilly Media.
- Contributors P (2018). PDAL Point Data Abstraction Library. doi:10.5281/zenodo.2556738
- Demir S (2013). *Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı*: Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2786.
- Ekercin S & Üstün B (2004). Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: Lidar. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 91, 34 - 38.
- Erbaş M (2016). LiDAR Verilerinden Enerji Nakil Hatlarının Otomatik Tespit Edilmesi Çalışmaları. *Harita Dergisi*, (156).
- Ester M, Kriegel H-P, Sander J & Xu X (1996). *Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise*. Paper presented at the Kdd
- Everitt B S & Hothorn T (2010). *A Handbook of Statistical Analyses Using R*: CRC.

Guan H, Yu Y, Li J, Ji Z & Zhang Q (2016). Extraction of power-transmission lines from vehicle-borne lidar data. *International Journal of Remote Sensing*, 37 (1), 229-247.

McLaughlin R A (2006). Extracting transmission lines from airborne LIDAR data. *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3 (2).

Muş E (2019). Lidar Verileri Kullanılarak Enerji Nakil Hatlarının ve Hatlara Risk Oluşturan Yüksek Obje Konumlarının Otomatik Olarak Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon.

Perperoglou A, Sauerbrei W, Abrahamowicz M & Schmid M (2019). A review of spline function procedures in R. *BMC Med Res Methodol*, 19 (1), 46.

Rusu R B & Cousins S (2011). Point cloud library (pcl). 2011 IEEE international conference on robotics and automation.

Sefercik U G, Karakiş S & Atalay C (2018). Yüksek Konum Doğruluklu Nokta Bulutu Sağlayan Hava Kaynaklı Lazer İHA Üretimi ve Veri Kalitesinin Değerlendirmesi. Paper presented at the VII. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2018), Eskişehir.

Sevgen E & Canaz S (2016). Elektrik Nakil Hattının Hava LiDAR Verilerinden Çıkarılması. Paper presented at the 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), Adana.

Şenel T, Cengiz M, Savaş N & Terzi Y (2014). Çoklu Doğrusal Regresyonda Model Seçiminde Genelleştirilmiş Toplamsal Modellerin Kullanımı. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 217 - 227.

Team R C (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing.

Zhang R Z, Yang B S, Xiao W, Liang F X, Liu Y & Wang Z M (2019). Automatic Extraction of High-Voltage Power Transmission Objects from UAV Lidar Point Clouds. *Remote Sensing*, 11 (22).



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>