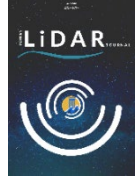




Türkiye LiDAR Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Kentsel Alanlarda Kadastro Haritaları için Mobil LiDAR Yönteminin Kullanılması

Burak Can Kaya ^{1*}, Muhammed Emin Bıyık ¹

^{1*} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 33310, Mersin, Türkiye; (kburakcank@gmail.com; muhammedeminbiyik3301@gmail.com)



*Sorumlu Yazar:
kburakcank@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kaya, B. C., & Bıyık, M. E. (2024). Kentsel Alanlarda Kadastro Haritaları İçin Mobil LiDAR Yönteminin Kullanılması. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 6(1), 36-43.

Geliş : 10.06.2024
Revize : 21.06.2024
Kabul : 22.06.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Bu çalışma, kentsel alanlarda kadastro haritalarının oluşturulmasında Mobil LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisinin kullanımını araştırmaktadır. Geleneksel kadastro yöntemlerinin sınırlamaları, kentsel alanların dinamik yapısı ve teknolojik gelişmelerin ışığında, Mobil LiDAR teknolojisi, yüksek doğruluk ve detay sunarak önemli bir alternatif sunmaktadır. Araştırma, Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsünde gerçekleştirilmiş olup, kompleks yapıların yoğun olduğu bir alan seçilmiştir. Çalışmada giyilebilir bir lazer tarayıcı kullanılarak elde edilen veriler, çeşitli analiz ve optimizasyon süreçlerinden geçirilmiştir. Sonuçlar, Mobil LiDAR teknolojisinin 3B nokta bulutları oluşturma, yüksek hassasiyetle ölçüm yapma ve kadastro yenileme çalışmalarında etkin bir araç olduğunu göstermektedir. Bu teknoloji, özellikle insan etkileşimi ve ek son işlem gerektirse de modern kentsel yönetim ve planlama uygulamaları için büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mobil LiDAR, kadastro, 3B nokta bulutu, SLAM, lazer tarama.

Using Mobile LiDAR Method for Cadastral Maps in Urban Areas

*Corresponding Author:
kburakcank@gmail.com

Research Article

Citation: Kaya, B. C., & Bıyık, M. E. (2024). Using Mobile LiDAR Method for Cadastral Maps in Urban Areas. *Turkish Journal of LiDAR*, 6(1), 36-43 (in Turkish).

Received : 10.06.2024
Revised : 21.06.2024
Accepted : 22.06.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

This study investigates the use of mobile LiDAR (Light Detection and Ranging) technology for cadastral mapping in urban areas. Given the limitations of traditional cadastral methods, the dynamic nature of urban areas, and technological advances, Mobile LiDAR technology provides an important alternative by providing high accuracy and detail. The research was conducted in the Çiftlikköy campus of Mersin University and an area with dense complex structures was selected. The data collected with a handheld laser scanner was subjected to various analysis and optimization processes. The results show that mobile LiDAR technology is an effective tool for 3D point cloud generation, high accuracy surveying and cadastral renovation. This technology has great potential for modern urban management and planning applications, especially where human interaction and additional post-processing are required.

Keywords: Mobile LiDAR, cadastre, 3D point cloud, SLAM, laser scanning,

1. Giriş

Kentsel gelişimin başlangıcından bu yana toprak ve arazi yönetimi büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, sınırların belirlenmesi ve tanımlanması, mülkiyetin tesis edilmesi ve mülkiyetin korunması amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bu süreç, arazi parsellerinin sistematik olarak incelenmesi ve ardından toplanan verilerin analiz edilmesiyle, mal sahibine mülkünü kullanma, ondan kar elde etme ve yönetme hakkı sağlama amacına doğru evrilmiştir (Yiğit vd., 2023). Günümüzde bu araştırmalar “kadaströ faaliyetleri” veya “kadaströ çalışmaları” olarak adlandırılmaktadır. Modern kadaströ sistemleri, arazi yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni olduğundan, arazinin sürdürülebilir yönetimi için vazgeçilmez bir aracı temsil etmektedir (Petronijević vd., 2021). Kadaströ ölçümü alanı, son yıllarda hem kavramsal çerçevesi hem de operasyonel sistemi açısından derin bir dönüşüm geçirmiştir. İlkel bir tapu sicilinden, etkili ve sürdürülebilir arazi yönetimini kolaylaştıran, teknolojik olarak sofistike ve uyarlanabilir bir sisteme dönüşmüştür (Hajji vd., 2021; Buuveibaatar vd., 2022). Dahası, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki yükü arttıkça, kadastronun bir bileşen olarak yer aldığı arazi yönetim sistemlerinin gelişimi de artmaktadır (Yomralıoğlu, 2011). Değişim özellikle ekonomik ve siyasi dönüşüm, kentleşme, tarımsal yoğunlaşma ve ormansızlaşma gibi süreçler tarafından yönlendirilmektedir. Ayrıca, değişimin hızı doğanın korunması, insan refahı ve sürdürülebilir kalkınma gibi bir dizi faktöre bağlıdır (Cabo vd., 2018).

Sosyal ve çevresel süreçlerin boyutları, insan-arazi bağlantılarının dahil edilmesi ve arazi kullanımının çeşitlendirilmesi ile genişletilmiştir. Federation Internationale des Geometres/The International Federation of Surveyors (FIG) tarafından yayımlanan Kadaströ 2014 çalışması, kadaströ faaliyetleri için standartlar oluşturma, kamu ve ticari sektörler arasında iş birliğini teşvik etme ve geleneksel ölçümler yerine dijital yöntemlere geçişi kolaylaştırma amacını taşımaktadır (Yiğit & Ulvi, 2020). Kadaströ 2034 vizyonu, önümüzdeki 20 yıl boyunca arazi yönetiminin geleceğini öngörmenin bir yolu olarak önerilmektedir. Öncelikli odak noktası hassas, güncel, nesne tabanlı, üç boyutlu ve dört boyutlu (dört boyutlu, üç boyutlu + zaman) kadaströ kavramlarının uygulanması olmuştur (Cabo vd., 2018; Sevgen, 2019; Cay vd., 2017; Chang vd., 2020; Chen, 2019). Bu konuda dikkat çeken iki girişim, planlamanın ilk aşamalarında çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı amaçlayan Gündem 21 ve Gündem 2030'dur. Gündem 2030'un Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini (SKH'ler) etkin bir şekilde izleyebilmek için doğru, güncel ve detaylı verilere erişmek çok önemlidir (Ulvi & Yiğit, 2019). Bu

tür veriler, bilinçli karar alma ve 2030 Gündeminin uygulanmasının hesabının sorulmasını sağlama açısından büyük önem taşımaktadır. Şehirlerin benzeri görülmemiş bir şekilde büyümesi, SKH'ler ele alınan bir dizi çevresel soruna katkıda bulunmaktadır. Binlerce yıldır kesintisiz olarak devam eden kentleşme süreci, son yıllarda kayda değer bir hızlanma yaşamıştır. Bu olgu, son birkaç on yılda gözlemlenen kentleşme oranlarındaki önemli artışa atıfta bulunularak literatürde kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir (Chen, 2018; Cui, 2019).

Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri, 2000-2015 yılları arasında kentsel arazilerin genişlemesinin, dünyanın tüm bölgelerindeki kentsel nüfus artışını aştığını belirtmiştir (Dawidowicz, 2018). Bu olgu, kentsel alanların kontrolsüz bir şekilde genişlemesine ve buna bağlı olarak kentsel nüfus yoğunluğunun azalmasına neden olmuştur. Uzaktan algılama verileri, kentsel gelişimin izlenmesi ve kadaströ sistemlerinin güncellenmesi için paha biçilmez bir bilgi kaynağıdır (Di Filippo vd., 2018). Yalnızca binaların ve yapay altyapının konumunu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda önemli özellikleri de içerir. Son zamanlarda, sürdürülebilir arazi yaklaşımı kapsamında kadaströ yenileme alanında çalışmalar yürütmek için yenilikçi metodolojilerin ve teknolojinin kullanımında kayda değer bir artış olmuştur (Di Stefano vd., 2021). Bu çalışmalarda, özellikle Türkiye'deki konut stokunun ve kentsel gelişimin hızlı büyümesi önemli bir faktör olarak tanımlanmaktadır. Kentleşmenin etkisi, klasik ölçüm tekniklerine dayanan geleneksel kadaströ yöntemlerini, arazi koşullarının dinamik yapısı nedeniyle yetersiz hale getirmiştir. Sonuç olarak, teknoloji kullanımı ile kadaströ güncelleme çalışmaları için yeni ve verimli bir alternatif sağlayan lazer tarama teknolojisi kullanılarak kadaströ haritalarının uygulanabilirliği önemli bir ivme kazanmıştır.

Haritalar ve planlar, binaların mevcut durumlarının mimari bir plan için uygun olup olmadığını belirlenmesini veya yenileme aşamalarında mimari olarak yorumlanmasını kolaylaştırır (Otero vd., 2020). Bir şehri oluşturan ana unsur bina olduğu için, binalar 3B şehir modellemesinde en çok talep gören nesnelere (Wei, 2008). Kentsel alanlar, genellikle yol ve bina gibi topoğrafik unsurların inşası, yıkımı ya da genişletilmesindeki insan faaliyetleri nedeniyle hızla değişmektedir (Morgan & Tempfli, 2000). Ayrıca, kentsel alanlarda yapılaşmanın hızlı bir şekilde artmasından dolayı, bina nesnelere güncel olmayabilir. Bu amaçla, kapalı alanların geometrik özelliklerinin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi günümüzde birçok çalışma için önem taşımaktadır (Velas vd., 2019). Önceleri klasik metrik ölçüm cihazlarıyla yapılan ölçüm işlemleri, total-station gibi hassas ölçü aletlerinin geliştirilmesiyle mimari yapıların benzer

amaçlarla ölçülmesi ve haritalanmasında önemli bir adım oluşturmuştur. Süreç içerisinde teknoloji ve fizik alanındaki gelişmeler lazer tarama sistemlerinin yaygınlaşmasına ve lazer sinyallerinin ölçüm amaçlı kullanılmasına katkı sağlamıştır (Kuçak vd., 2023; Zeybek, 2021).

Lazer tarama tekniği, nesnelerin doğrudan, hassas ve otomatik üç boyutlu (3B) koordinatlarını sağlayan bir teknolojisidir (Akar, 2017; Reshetyuk, 2009). Bu teknoloji ile hedef nesne hakkında büyük detaylar içeren, yüksek çözünürlüklü eşleştirme sağlayan, değişiklik takibi ve sunum imkânı olan ve herhangi bir metrik ölçüm alınabilen yüksek hassasiyetli 3B nokta bulutları oluşturulabilmektedir. Giyilebilir lazer tarama sistemi, anlık konumlandırma ve haritalama algoritmalarından olan Eşzamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (Simultaneous Localization and Mapping/SLAM) kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, sistemin harita üzerindeki konumunu belirlerken aynı anda menzil sensörlerini geçirerek bilmediğiniz çevrenin haritalanmasına izin verir (Di Filippo vd., 2018). Bu, farklı alanlara seyahat ederek ve farklı konumlardan ölçüm yaparak nokta bulutlarının yakalanmasını sağlar (Yakar vd., 2009). SLAM tabanlı cihaz, kendisini çevreleyen ortamda konumlandırmak için LiDAR ve Ataletsel ölçüm birimi (Inertial Measurement Uni/IMU) sensörlerinden veri alır. SLAM algoritması, yerel koordinat ortamının bir haritasını oluşturmak ve konumunu tahmin etmek için duvarlar, zeminler ve sütunlar gibi geometrik nesne varyasyonlarını tespit ederek bu verileri analiz eder. Giyilebilir Mobil Lidar (GML) cihazlarında SLAM algoritması, harita ve model oluşturmanın temelini oluşturur (Yiğit vd., 2023; Karabacak & Yakar, 2023a,b,c,d)

Türkiye'deki kadastro işlemlerinin %99'unun tamamlanmıştır (Dinlemez & Ok, 2021). Bununla birlikte, kullanılan mevcut yöntem ve ekipmanlar, kadastro ölçümlerinde istenen ± 8 cm hassasiyete ulaşmak için yetersizdir. Bazı ölçümler yanlış veya eksik yapılmıştır ve bu yöntem ve ekipmanlar, mevcut kadastro verilerinin sayısallaştırılması ve Türkiye tarafından kabul edilen uluslararası standartlara (ISO 19152, 2012) uyulması gibi diğer zorlukları ele almada da yetersizdir (ISO 19152, 2012). Ayrıca, Arazi Yönetimi Alan Modeli, INSPIRE, Kadastro 2014 ve gelecekteki gelişmeler gibi vizyoner çalışmalar kadastronun yenilenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur (Ercan & Toker, 2022; Gollob vd., 2020). Ölçüm aletleri alanında süregelen ilerleme, teknolojiye gelişmelerin bir sonucudur. Ölçüm cihazlarının evrimi sayaçların ortaya çıkmasıyla başlamış ve Elektronik Uzunluk Ölçer (Total Station) ve Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System/GNSS) dahil olmak üzere ileri teknolojilerin uygulanmasıyla ilerlemiştir. Bu

teknolojiler doğruluklarını ve hassasiyetlerini kanıtlamış olsalar da artan insan nüfusu nedeniyle çevresel etkilere karşı hassastırlar. Özellikle yerleşim alanlarında, GNSS'nin sınırlamalarını ve total-station ve ölçüm teknolojisinin zaman verimliliği açısından dezavantajlarını ele almak için yeni çözümler geliştirilmektedir. Bu hedefe ulaşmak için yeni teknolojilerin etkinliği değerlendirilmelidir. Birçok disiplin, çeşitli araştırma bağlamlarında jeodezik ölçüme potansiyel bir alternatif olarak GML üzerine araştırmalar yürütmüştür. Bu makale, uzaktan algılama cihazları olan Mobil LiDAR sensörlerinden elde edilen verilerin karşılaştırmalı bir analizini sunmaktadır (Karabacak & Yakar, 2022; Karataş vd., 2022; Nazari vd., 2023). Bununla birlikte, çalışmamızın odaklandığı gibi geniş bölgelerde modern teknoloji ile eski yaklaşımlar arasındaki karşılaştırma üzerine çok az araştırma yapılmıştır. Yeni tasarımı ve karmaşık işlevselliği nedeniyle mobil LiDAR sistemi, karmaşık kentsel ortamlarda önerilen tekniği incelemek için değerli bir fırsat sunmaktadır. Araştırma projesi, GML LiDAR sensörlerinin karmaşık bir metropol ortamında doğruluk değerlendirmeleri ve kadastro araştırmalarında bina ayak izlerinin kullanımını değerlendirmek üzere tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak, Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsünde bulunan, karmaşık yapıların yoğunlukta olduğu bir bölge seçilmiştir. Bu alan, büyük girinti ve çıkıntılara sahip binalar, çeşitli dış sütunlar ve güneşten korunmak için üstü balkon olan geçiş tünelleri gibi mimari özellikler taşımaktadır. Bu özellikler, geleneksel ölçüm yöntemleri ile veri toplamanın zor olduğu koşullar yaratmaktadır. Ayrıca, alanın yüksek insan sirkülasyonu nedeniyle uzun süreli ölçüm yapmanın zorlukları da dikkate alınarak seçilmiştir. Çalışma alanında bulunan yapılar maksimum 3 katlı olup yüksekliği yaklaşık 8-10 metre civarındadır. Bu alanın seçilmesindeki en önemli sebep yapıların karmaşıklığı ve geleneksel ölçüm yöntemleri ile veri toplanmasının oldukça zor olması gösterilebilir. Ayrıca çevrede bulunan geçiş alanlarında çok fazla insan sirkülasyonu olduğu için uzun süreli ölçüm yapma durumu olumsuz etkilenmesi bu alanın seçilmesinde etken olmuştur.

2.2. Donanım

Bu çalışmada, Heron Lite Renkli lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu cihaz, uçuş zamanı prensibi ile çalışmakta olup, bir nesneye gönderilen lazer darbesinin nesneye ulaşması, yansması ve sensöre

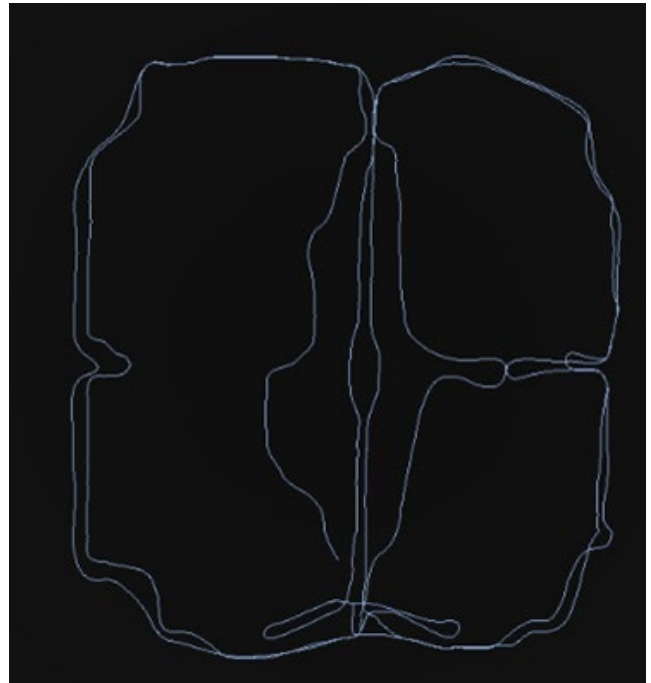
geri dönmesi için geçen süreyi hesaplamaktadır. Teknik özellikleri Tablo 1'de verilen GML cihazı, bir nesneye gönderilen lazer darbesinin nesneye ulaşması, nesne üzerinde yansması ve sensöre geri dönmesi için geçen sürenin hesaplanması prensibi ile çalışmaktadır. Mesafe bilgisi verebilmesi nedeniyle anlık nesne tespiti ve nesne yeniden yapılandırma gibi güncel araştırma alanlarında önemli etkileri vardır. Bazen bu cihazda kullanılan yöntem dahili kameralar ve ölçülen mesafe bilgisinin doğruluğunu etkileyen bir hata kaynağı içerir. Heron Lite Color, bu yöntemi kalibre edilmiş reflektörlerle uygulayarak hataları en aza indirir. Giyilebilir mobil tarama işlemi için ilk olarak çalışma alanında keşif yapılarak yörüngeler belirlenmiştir. Yörünge belirlenirken başlangıç noktası ile bitiş noktasının aynı yerde olmasına dikkat edilmiştir. Yani ölçüm yörüngesi belirlenen noktadan başlayıp hat tamamlandıktan sonra başlangıç noktasında bitecek şekilde oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan lazer tarayıcı SLAM algoritması ile çalışmakta olup cihazın harita üzerindeki konumunu belirlerken aynı anda menzil sensörlerini kullanarak çevrenin haritalanmasını sağlar. Bu yöntem, LiDAR ve IMU sensörlerinden gelen verileri kullanarak, cihazın konumunu tahmin eder ve çevrenin geometrik bir haritasını oluşturur. SLAM algoritması, özellikle karmaşık ve dinamik kentsel ortamlarda yüksek doğrulukta haritalama yapılmasına olanak tanır.

2.3. Veri toplama

Çalışma alanının tamamen açık havada olması çevresel faktörlerin (araba, bitki örtüsü vb.) fazlalığına ve canlıların (insan, hayvan vb.) yoğunluğuna neden olmaktadır. Bu nedenle, veri toplama sürecinde gürültü oluşturabilecek hareketli ve sabit nesnelere kaçınmak için bazı önlemler alınmalıdır. İlk olarak, taramalar yörünge boyunca (Şekil 1) hareketliliğin en

az olduğu zamanda gerçekleştirilmiştir. Tarama sırasında, tarama operatörünün yanında bir yardımcı operatör bulunmuştur. Yörünge üzerinde tarama yapılmadan önce, yardımcı operatör yaklaşık elli metre önceden hareket etmiş ve çevresel etkileri en aza indirmek için önlemler almaya çalışmıştır. Bu nedenle, tarama-veri işleme aşamasında gürültülü verileri ortadan kaldırmak için tarama cihazından 1,5-30 m dışındaki veriler sürece dahil edilmemiştir. Bu çalışmada kullanılan mobil lazer tarama cihazı giyilebilir olarak tasarlandığı için operatörün vücuduna taşıma aparatları yerleştirilmiştir. Lazer sensörünün monte edildiği direk elle tutulmakta ve operatör kaynaklı salımlara maruz kalmaktadır. Bu da yörüngeyi kaydeden IMU'da hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle yörüngeler, tarama boyunca minimum titreşim olacak şekilde belirlenmiş ve özellikle engebeli alanlardan kaçınılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan güzergâh.

Tablo 1. Mobil LiDAR Gexcel Heron Lite Color'ın Teknik Performans Özellikleri (Yiğit vd., 2023).

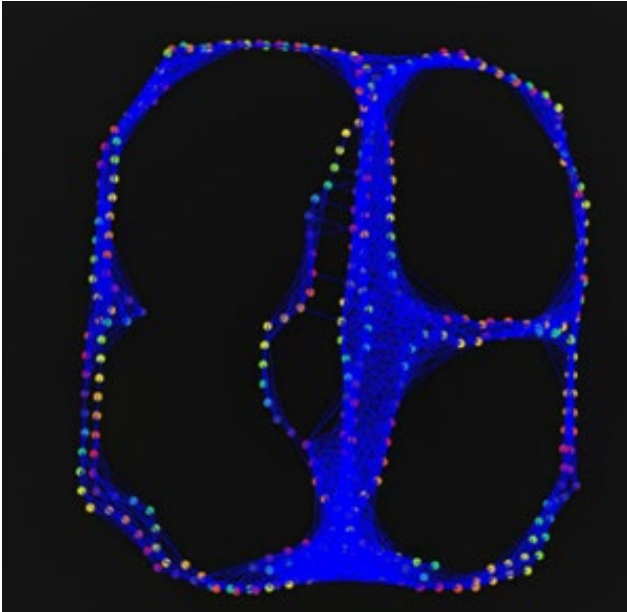
Gexcel Heron Lite Color'ın Teknik Özellikleri	Değer
Marka ve tip	Velodyne VLP 16
Ölçüm aralığı	0,4-100 m iç veya dış mekân
Ölçüm hızı	Saniyede 300.000 puana kadar
Menzil Doğruluğu (10-100 m ölçümler için)	± 3 cm
Mutlak doğruluk [cm cinsinden 1 sigma]	± 3 cm
Maksimum ölçüm çözünürlüğü	~ 2 cm
Görüş alanı (dikey/yatay)	360° V/360° H
Lazer sınıfı	Lazer sınıfı 1

3. Bulgular

GML ile veri toplamak önemli olduğu kadar sonrasında verilerin işlenmesi de önemli bir süreçtir.

GML taraması sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi üç adımda gerçekleştirilmiştir: bir kilometre sayacı, Yinelemeli En Yakın Nokta (Iterative Closest Point/ICP) ve bir harita oluşturma. İlk olarak, hareketli

nesnelere kaynaklanan gürültüyü gidermek için mesafe sınırı ayarlanmıştır. Eşik değerleri $0,10m < eşik < 5,00m$ olarak belirlenmiştir. Çevredeki hareketli nesnelere kaynaklanan gürültüyü azaltmak için lazer darbesi mesafesi uzatılmıştır. Ayrıca yapıların üst kısımlarına mümkün olduğunca fazla lazer atımı gerçekleştirmek için cihaz ile hedef nesne arasındaki mesafenin artmasına bağlı olarak eşik değeri mümkün olduğunca artırılmıştır. İkinci bölüm olan ICP algoritması, ilgili varlıklar arasındaki çerçeve hatalarını en aza indirerek bir nokta bulutu ile bazı referans yüzeyler (veya başka bir nokta bulutu) arasındaki dönüşümü bulmayı amaçlamaktadır. Bu aşamada "yerel harita" ayarları yapılmış ve oluşturulacak 3B nokta bulutu haritasının geometrik kriterleri belirlenmiştir. Kilometre sayacından sonra "harita oluştur" bölümüne geçildi. Burada tüm yörünge bir dizi haritaya bölünerek oluşturulmuştur. Harita oluşturma işleminden sonra global optimizasyon kısmına geçilmiştir. Bu adımda segmente edilmiş haritalar hizalanır. Bu bölümdeki parametre ayarında ICP iterasyonunun varsayılan değeri seçilmiştir. Bu bölümün temel amacı doğruluğu arttırmaktır. Parametre ayarından sonra bölümlenmiş haritalar bir bağ ile birbirine bağlanır (Şekil 2).



Şekil 2. Harita üretmek için bağ atımı.

Daha sonra GML verileri kullanılarak 2 boyutlu kadastral harita üretildi (Şekil 3). Üretilen harita üzerinde çizimler yapıldı. Ancak Şekil 3'te görüldüğü gibi üretilen ortofoto haritasında GML verisinden dolayı boşluklar bulunmaktadır. Bu nedenle harita çizimi sürecinde hem ortofoto hem de 3 boyutlu nokta bulutları (Şekil 4) kullanılmalıdır. Üretilen ortofoto haritası 1 cm/piks çözünürlükte üretilmiştir. Bu değerler kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir ve

çalışmada 1 cm/pix seçilmesinin nedeni çizimlerde alanın aynı çözünürlüklü hava ortofotosunun kullanılmasıdır. Böyle bir uygulamada sadece nokta bulutundan çizim yapmak veri karışıklığına ve gürültüye neden olur. Bu nedenle yazarlar olarak, çalışmada uygulandığı gibi nokta bulutu verileri ile ortofoto verilerinin entegre bir şekilde kullanılması önerilmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanına ait Blueprint.

Mobil LiDAR sistemi kullanılarak yapılan çalışma, Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsünde gerçekleştirilen taramalar sonucunda elde edilen verilerin analiz edilmesiyle önemli sonuçlar ortaya koyulmuştur. Heron Lite Renkli lazer tarayıcı kullanılarak elde edilen veriler, yüksek çözünürlüklü 3B nokta bulutlarına dönüştürülmüştür. Verilerin işlenmesi sırasında hareketli nesnelere kaynaklanan gürültülerin azaltılması için çeşitli önlemler alınmış ve bu sayede elde edilen nokta bulutlarının doğruluğu artırılmıştır. Elde edilen nokta bulutları, karmaşık kentsel yapılar ve detaylı çevre özelliklerini doğru bir şekilde yansıtarak, kadastral haritalarının güncellenmesi için yüksek doğrulukta veriler sağlamıştır. Çalışma, Mobil LiDAR teknolojisinin kentsel kadastral çalışmalarında kullanılabilirliğini ve doğruluğunu göstermiştir. Giyilebilir Mobil LiDAR sistemi ile yapılan ölçümler, 5 ila 10 cm arasında değişen doğruluklarla sonuçlanmış ve bu sistemin kentsel alanlardaki yapıların ve çevrelerin detaylı haritalanmasında etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, SLAM algoritması kullanılarak yapılan taramalar, nokta bulutlarının oluşturulmasında ve harita doğruluğunun artırılmasında önemli bir rol oynamıştır.



Şekil 4. Çalışma alanının 3B nokta bulutu.

4. Tartışma

Bu araştırma, Mobil LiDAR teknolojisinin kentsel kadastro çalışmalarındaki potansiyelini ve uygulanabilirliğini detaylı bir şekilde incelemiştir. Mobil LiDAR teknolojisinin kentsel kadastro haritalarının oluşturulmasındaki etkinliğini ve doğruluğunu incelemiştir. Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsünde gerçekleştirilen araştırma, kompleks yapıların yoğun olduğu bir alanda, Heron Lite Renkli lazer tarayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Mobil LiDAR sisteminin yüksek çözünürlüklü 3B nokta bulutları oluşturarak, kentsel alanlardaki yapıların detaylı ve doğru bir şekilde haritalanmasını sağladığını göstermektedir.

GML sistemi ile yapılan ölçümler, 5 ila 10 cm arasında değişen doğruluklarla sonuçlanmış ve bu sistemin kentsel alanlardaki yapıların ve çevrelerin detaylı haritalanmasında etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur. SLAM algoritması kullanılarak yapılan taramalar, nokta bulutlarının oluşturulmasında ve harita doğruluğunun artırılmasında önemli bir rol oynamıştır. Elde edilen nokta bulutları, karmaşık kentsel yapılar ve detaylı çevre özelliklerini doğru bir şekilde yansıtarak, kadastro haritalarının güncellenmesi için yüksek doğrulukta veriler sağlamıştır.

Elde edilen bulgular, Mobil LiDAR sistemlerinin geleneksel kadastro yöntemlerine göre birçok avantaj sunduğunu göstermektedir. Özellikle, kentsel alanlardaki dinamik yapı ve karmaşık çevre koşulları göz önüne alındığında, Mobil LiDAR teknolojisi hızlı, doğru ve detaylı veri toplama imkânı sunarak kadastro çalışmalarında önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Mobil LiDAR sistemlerinin kentsel yönetim ve planlama uygulamalarında yaygın olarak kullanılması, kadastro çalışmalarının doğruluğunu ve verimliliğini artırabilir. Ancak, bu teknoloji insan etkileşimi ve ek son işlem gerektirdiğinden,

operatörlerin bu konuda eğitilmesi ve sistemlerin optimize edilmesi önemlidir. Ayrıca, Mobil LiDAR teknolojisinin maliyet etkinliği ve sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekteki araştırmalar, Mobil LiDAR sistemlerinin farklı kentsel ortamlardaki performansını değerlendirmeli ve bu teknolojinin kadastro çalışmalarındaki etkinliğini artırmak için yeni yöntemler geliştirmelidir. Ayrıca, diğer uzaktan algılama teknolojileri ile entegrasyon ve veri işleme süreçlerinin iyileştirilmesi, kentsel kadastro çalışmalarında daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

5. Sonuçlar

Uzaktan algılama teknolojisindeki son gelişmeler, kentsel yönetim ve planlama uygulamalarında giderek daha fazla kullanılan GML nokta bulutlarına olan ilginin artmasına neden olmuştur. GML haritalama sistemi potansiyel göstermiştir, ancak insan etkileşimi ve ek son işlem gerektirmektedir. Bu araştırma, GML'nin 3B ölçüm için teknolojik ve metodolojik sınırlamalarını vurgulamakta ve doğruluğu sağlamak için yardımcı verilere olan ihtiyacı vurgulamaktadır. GML, farklı verilerin birleştirilmesi için uygun bir ikame olduğunu kanıtlamış ve birçok bağlamda kullanılabilirliğini göstermiştir. Bununla birlikte, doğal arazi izlemede yaygın olarak kullanılmamıştır ve çok az çalışma bu özel bağlamdaki etkinliğini değerlendirmiştir. Önceki araştırmalar, GML'nin, özellikle İHA kullanımının yasak olduğu veya GNSS araştırmasının mümkün olmadığı açık hava haritalama durumlarında fotogrametri için uygun bir yedek olabileceğini göstermiştir. LiDAR sensörleri, özellikle geleneksel ölçüm tekniklerinin yetersiz kaldığı durumlarda uygulanabilir bir alternatif olarak hizmet vermektedir. Sıkışık kentsel alanlarda uydu sinyalleri zayıf olabilir, bu da doğruluğu ve verimliliği olumsuz etkileyebilir. GML yaklaşımları, SLAM algoritması ile birleştirildiğinde, bu ve benzeri

senaryolarda önemli çözümler sağlar. Bu çalışma, HERON Lite Color taşınabilir GML'nin kadastral bölgelerin doğru bir şekilde ölçülmesindeki etkinliğini incelemiş ve taşınabilir sistemlerin sivil yapıları veya metropol bölgeleri ölçmek için kullanıldığında 5 ila 10 cm'lik doğruluklara ulaşabileceğini bulmuştur. Gelecekteki araştırmalar, kadastro uygulamaları için taşınabilir sistemlerin değerlendirilmesine ve bu ortamlarda veri toplama ve işleme için en uygun yöntemlerin belirlenmesine öncelik vermelidir.

Araştırmanın sonuçları, Mobil LiDAR teknolojisinin kentsel kadastro çalışmalarında sunduğu avantajları ve potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu teknoloji, özellikle insan etkileşimi ve ek son işlem gerektirse de modern kentsel yönetim ve planlama uygulamaları için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Mobil LiDAR sistemleri, geleneksel kadastro yöntemlerine göre daha hızlı, doğru ve detaylı veri toplama imkânı sunarak, kadastro çalışmalarında önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Gelecekteki araştırmalar, Mobil LiDAR sistemlerinin farklı kentsel ortamlardaki performansını değerlendirmeli ve bu teknolojinin kadastro çalışmalarındaki etkinliğini artırmak için yeni yöntemler geliştirmelidir. Ayrıca, diğer uzaktan algılama teknolojileri ile entegrasyon ve veri işleme süreçlerinin iyileştirilmesi, kentsel kadastro çalışmalarında daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, Mobil LiDAR teknolojisinin kullanımının yaygınlaştırılması ve optimize edilmesi, sürdürülebilir kentsel yönetim ve planlama uygulamalarının başarısına önemli katkılar sağlayacaktır.

Yazarların Katkısı

Burak Can Kaya; Muhammed Emin Bıyık: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Analiz, Kontrol, Denetleme, Tartışma, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

Akar, A. (2017). Evaluation of accuracy of dems obtained from uav-point clouds for different topographical areas. *International journal of engineering and geosciences*, 2(3), 110-117.

Buuveibaatar, M., Lee, K., & Lee, W. (2022). Implementation of the LADM-Based Cadastral

- Model for Mongolia towards Transition to a 3D Cadastre. *Land*, 11(11), 2014.
- Cabo, C.; Del Pozo, S.; Rodríguez-González, P.; Ordóñez, C.; González-Aguilera, D. Comparing terrestrial laser scanning (TLS) and wearable laser scanning (WLS) for individual tree modeling at plot level. *Remote Sens.* 2018, 10, 540.
- Cay, T., Toklu, N., & Esen, Ö. (2017). Evaluation of land reform policies in Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(2), 61-67.
- Chang, L., Niu, X., & Liu, T. (2020). GNSS/IMU/ODO/LiDAR-SLAM integrated navigation system using IMU/ODO pre-integration. *20(17)*, 4702.
- Chen, C., Tang, L., Hancock, C. M., & Zhang, P. (2019). Development of low-cost mobile laser scanning for 3D construction indoor mapping by using inertial measurement unit, ultra-wide band and 2D laser scanner. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(7), 1367-1386.
- Chen, Y., Tang, J., Jiang, C., Zhu, L., Lehtomäki, M., Kaartinen, H., ... & Chen, R. (2018). The accuracy comparison of three simultaneous localization and mapping (SLAM)-based indoor mapping technologies. *18(10)*, 3228.
- Cui, Y., Li, Q., & Dong, Z. (2019). Structural 3D reconstruction of indoor space for 5G signal simulation with mobile laser scanning point clouds. *Remote Sensing*, 11(19), 2262.
- Dawidowicz, A., & Żróbek, R. (2018). A methodological evaluation of the Polish cadastral system based on the global cadastral model. *Land use policy*, 73, 59-72.
- Di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L. J., Barba, S., Martín-Jiménez, J. A., Mora, R., & González Aguilera, D. (2018). Use of a wearable mobile laser system in seamless indoor 3D mapping of a complex historical site. *Remote Sensing*, 10(12), 1897.
- Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021). Mobile 3D scan LiDAR: A literature review. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387-2429.
- Dinlemez, M., & Ok, A. Ö. (2021). Türkiye'de Geçmişten Günümüze Taşınmaz Yönetimindeki Gelişmeler Ve Dijitalleşme Yolunda Atılan Adımlar. *Third Sector Social Economic Review*, 56(4), 2932-2943.
- Ercan, O., & Toker, K. (2022). Assessment of the completion of the forest cadastre considering the legal grounds, collaboration, and the use of technology: The case of Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 49-58.
- Gollob, C., Ritter, T., & Nothdurft, A. (2020). Forest inventory with long range and high-speed personal laser scanning (PLS) and simultaneous localization and mapping (SLAM) technology. *Remote Sensing*, 12(9), 1509.
- Hajji, R., Yaagoubi, R., Meliana, I., Laafou, I., & Gholabzouri, A. E. (2021). Development of an integrated BIM-3D GIS approach for 3D cadastre in

- Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 351.
- ISO 19152. (2012). Geographic information – Land Administration Domain Model (LADM). <https://www.iso.org/standard/51206.html> (Erişim Tarihi: 9 Mayıs 2024).
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LiDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 37-52.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023a). Incorrect use of wearable mobile LiDAR: Example of Mersin Soli Beach and Ankara National Library Underpass. *Intercontinental Geoinformation Days*, 7, 234-237.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023b). Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 52-60.
- Karabacak, A., & Yakar, M. (2023d). 3D Modeling of Mufti Abdullah Sıddık Mosque using Wearable Mobile LiDAR. *Advanced LiDAR*, 3(1), 01-09.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Analytical Documentation of Stone Material Deteriorations on Facades with Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Şanlıurfa Kışla Mosque. *Advanced LiDAR*, 2(2), 36-47.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & Alkan, R. M. (2023). iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi. *Geomatik*, 8(1), 35-41.
- Morgan, M., & Tempfli, K. (2000). Automatic building extraction from airborne laser scanning data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33, 3(2), 616-623.
- Nazari, S. W., Akarsu, V., & Yakar, M. (2023). Analysis of 3D Laser Scanning Data of Farabi Mosque Using Various Softwares. *Advanced LiDAR*, 3(1), 22-34.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I., & Arias, P. (2020). Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction*, 120, 103399.
- Petronijević, M., Višnjevac, N., Prašević, N., & Bajat, B. (2021). The extension of IFC for supporting 3D cadastre LADM geometry. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 297.
- Reshetyuk, Y. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning*, Doktora tezi, Royal Institute of Technology (KTH) Department of Transport and Economics Division of Geodesy, Stockholm, İsveç.
- Sevgen, S. C. (2019). Airborne lidar data classification in complex urban area using random forest: a case study of Bergama, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), 45-51.
- 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.
- Velas, M., Spanel, M., Sleziak, T., Habrovec, J., & Herout, A. (2019). Indoor and outdoor backpack mapping with calibrated pair of velodyne LiDARs. *Sensors*, 19(18), 3944.
- Wei, S. (2008). Building boundary extraction based on lidar point clouds data. *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 157-161.
- Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu H M (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Yakar, M., & Karabacak, A., (2023c). Giyilebilir Mobil Lidar ve Uygulamaları, Isbn: 978-625-8101-40-9, *Atlas Akademi*, Baskı Sayısı: 1, 196 Sayfa, Konya, Türkiye.
- Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yiğit, A. Y., Hamal, S. N. G., Yakar, M., & Ulvi, A. (2023). Investigation and Implementation of New Technology Wearable Mobile Laser Scanning (WMLS) in Transition to an Intelligent Geospatial Cadastral Information System. *Sustainability*, 15(9), 7159.
- Yomralıoğlu, T. (2011). Dünya'da arazi yönetimi. *Türkiye'de sürdürülebilir arazi yönetimi çalıştay*, 26-27.
- Zeybek, M. (2021). Indoor mapping and positioning applications of hand-held lidar simultaneous localization and mapping (slam) systems. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 7-16.



© Author(s) 2024.

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