

Giyilebilir Mobil LiDAR'ın Kadastroda Kullanılabilirliği

Atilla Karabacak^{1*}, Murat Yakar²

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

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



*Sorumlu Yazar:
atilakarabacak@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

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

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

Özet

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

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

Usability of Wearable Mobile LiDAR in Cadastre

*Corresponding Author:
atilakarabacak@mersin.edu.tr

Research Article

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

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

Abstract

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

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

1. Giriş

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

2. Gexcel Heron Giyilebilir 3B Mobil Haritalama Sistemi

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

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



Şekil 1. Heron GML.

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

Çalışma İçin Uygun Hava Koşulları

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

Çalışma İçin Uygun Olmayan Hava Koşulları

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

Tarama Esnasında Dikkat Edilecek Hususlar

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

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

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

3. GML ile Yapı Adası 3B Modellemesi ve Haritası

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

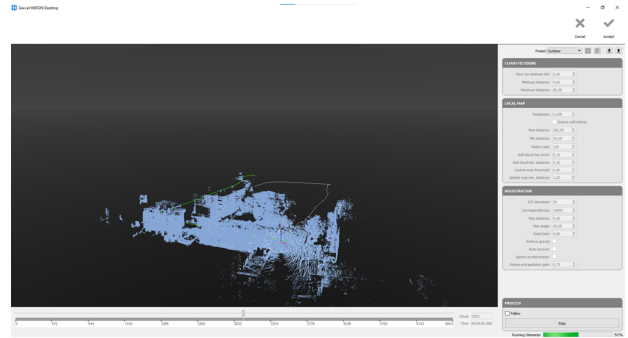


Şekil 2. Arazi çalışmasından bir kare.

3.1 Yapı Adasının GML ile Ölçümü

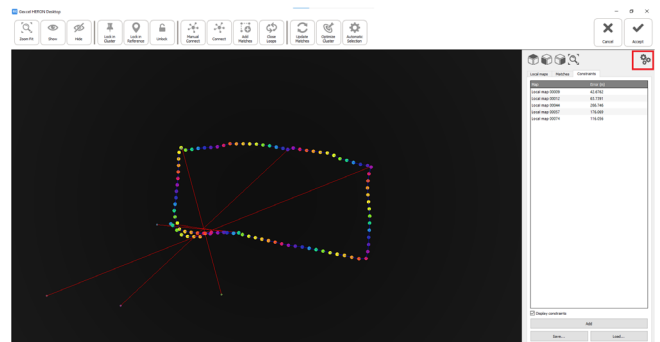
Ölçüm için arazi gezildi ve yürüme yolu üzerinde poligon noktaları tesis edildi. Kapalı güzergâh olarak 5 YKN kullanılarak yoldan yapı adasını turlayan güzergâh planlandı. Engellere göre plan yapıldı. Güzergâh yaklaşık 8 dakikada tamamlandı.

Güzergâhın Odometer edilmesi Şekil 3'te gözükmektedir.



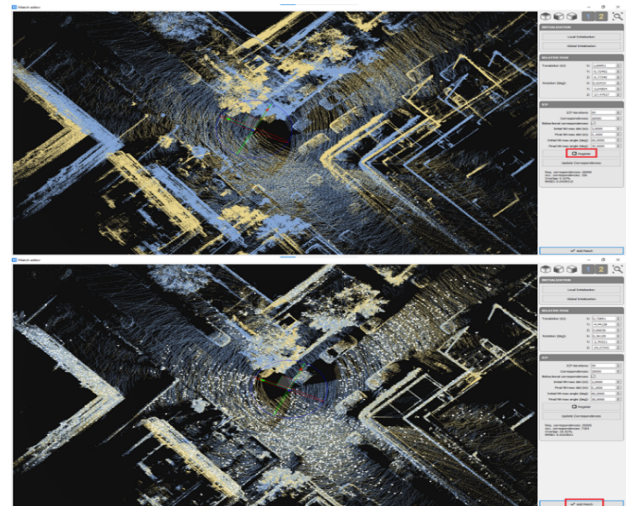
Şekil 3. Güzergâhın Odometer edilmesi.

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



Şekil 4. YKN noktaları dahil edilmiş bağlar.

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



Şekil 5. Yeni bağ çakıştırılır.

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

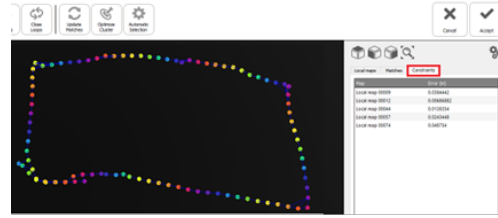
Dengeleme sonucunda YKN noktalarına isabet eden hataların en büyüğü 5 cm olarak Şekil 7'de gözlenmektedir. Reconstructor'da farklı açılardan yapı adası 3B modeli Şekil 8'de incelenebilir üzerinden ölçü alınabilir.

Reconstructor'da yapının ortofotosu Şekil 9'da gözüktüğü gibi üretildi. Reconstructor'da, YKN noktalarının GML'in verdiği mevzi ve GNSS ve totalstation ile verilen ITRF koordinatları Şekil 10'da görülmektedir. Reconstructor'da, YKN isabet eden hatalar ve koordinat eksenlerine göre sapmaları Şekil 11'de görüntülenebilir, burada koordinat dönüşümünde hatası büyük olan YKN seçilmedi. Reconstructor'da koordinat dönüşümü yapılmış 3B nokta bulutu Şekil 12'de gözüktüğü gibi görüntülenebilir.

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

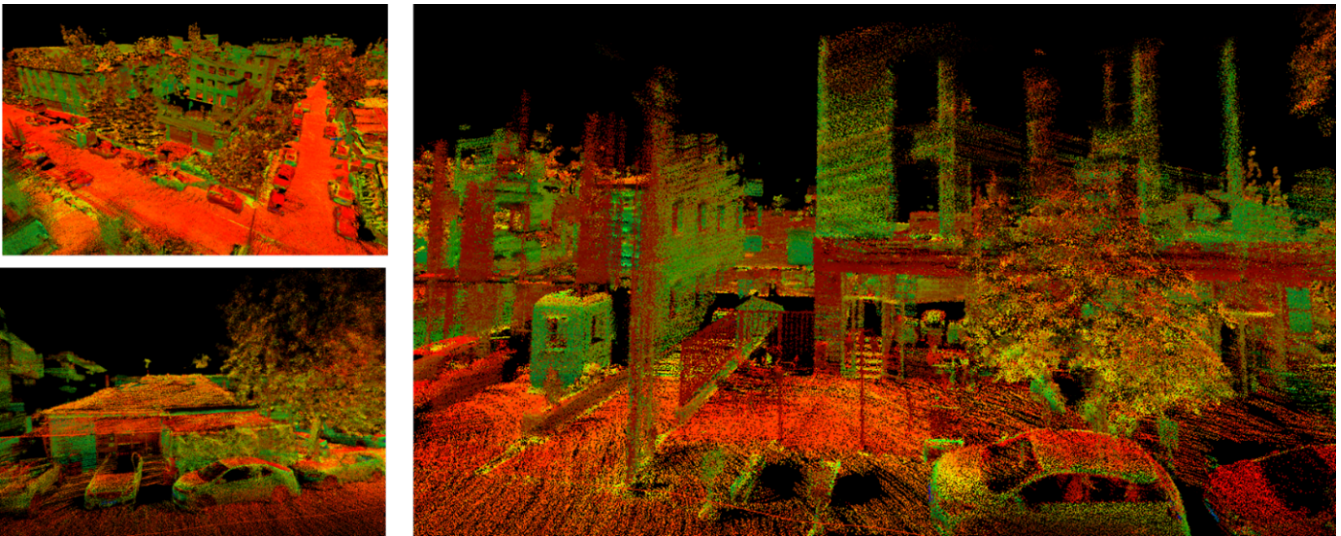
Map 1 (ID)	Map 2 (ID)	Overlap (%)	RMSD (cm)	Error (m+rad)
Local map 00003	Local map 00089	38.8600	2.2464	0.0392
Local map 00034	Local map 00030	9.1550	2.8669	0.0374
Local map 00003	Local map 00004	58.2400	2.0468	0.0323
Local map 00009	Local map 00010	50.0200	2.4795	0.0201
Local map 00053	Local map 00054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

Şekil 6. Bağlardaki hata ve RMSD.

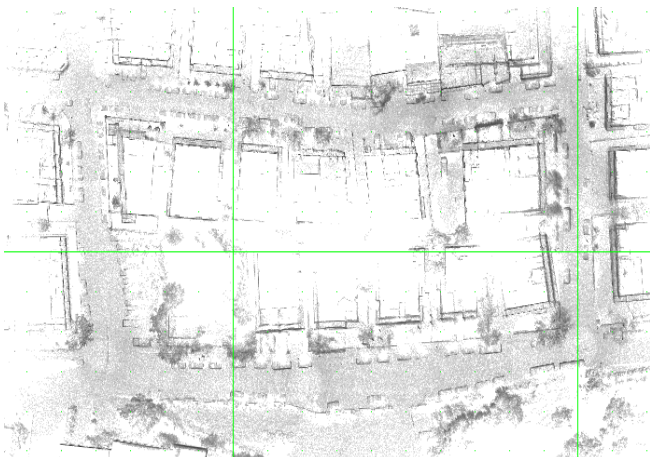


Map	Error (m)
Local map 00009	0.0384442
Local map 00012	0.00686882
Local map 00044	0.0138354
Local map 00057	0.0243448
Local map 00074	0.048754

Şekil 7. Dengeleme sonucu YKN isabet eden hatalar.



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



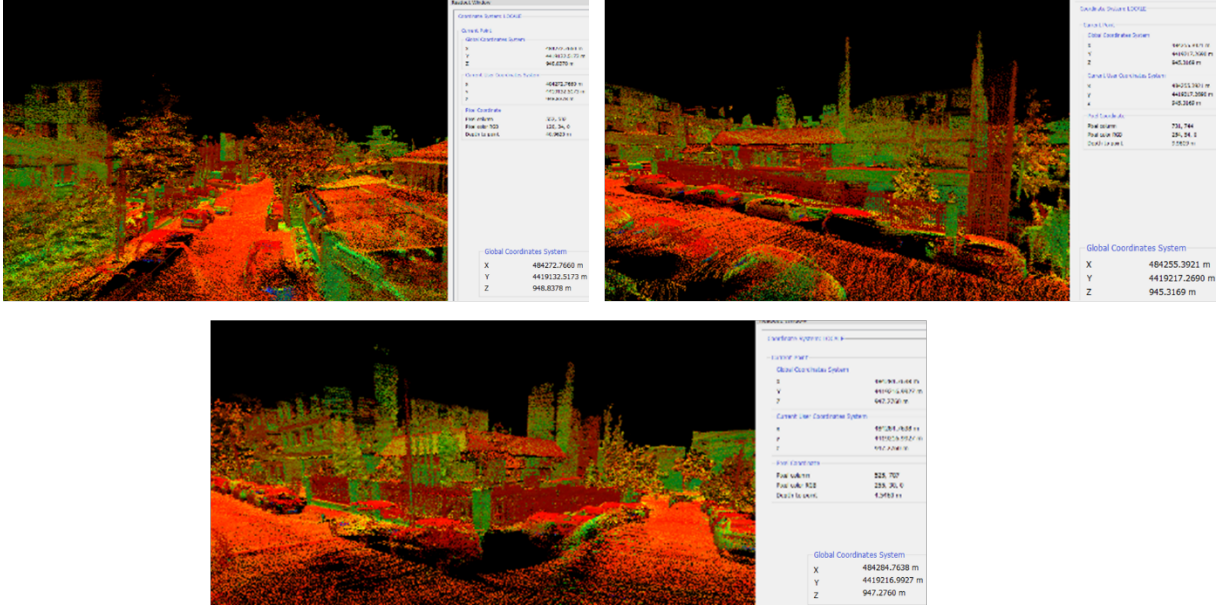
Şekil 9. Yapı adasının ortofotosu.

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

Şekil 10. YKN mevzi ve ITRF koordinatları.

Registration Report		Mean registration error: [0.0439 m]			Error threshold [m] [0.010]		
Match [Moving point: X, Y, Z] - Reference point: X, Y, Z]	Error [m]	X Error [m]	Y Error [m]	Z Error [m]			
<input checked="" type="checkbox"/> Reference Point 005: (-57.3265, 99.7134, -5.7053) - GCP6: (484218.0160, 4419212.2630, ...	0.0240	0.0241	0.0059	0.0011			
<input checked="" type="checkbox"/> Reference Point 005: (-54.0174, -38.9640, 0.8465) - GCP10: (484221.3670, 4419073.6410, ...	0.0794	0.0621	0.0496	0.0013			
<input checked="" type="checkbox"/> Reference Point 002: (-0.7406, 10.6213, -0.2317) - P.2A: (484274.5840, 4419123.1800, ...	0.0126	0.0037	0.0018	0.0119			
<input checked="" type="checkbox"/> Reference Point 004: (-64.0221, 40.2777, -3.3384) - GCP8: (484211.2710, 4419152.8130, ...	0.0336	0.0270	0.0200	0.0019			
<input checked="" type="checkbox"/> Reference Point 001: (0.0636, 0.0236, 0.0139) - P.1: (484275.3220, 4419112.5550, ...	0.0688	0.0629	0.0255	0.0114			

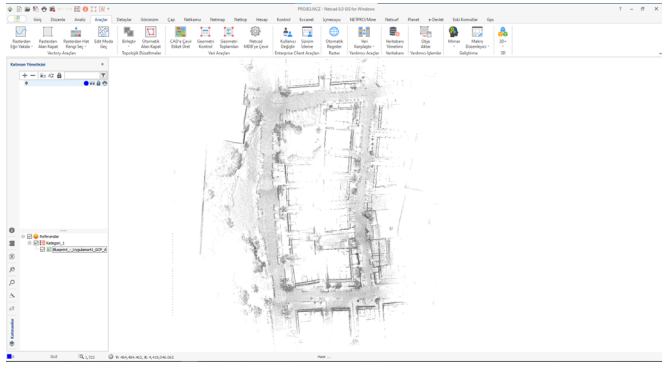
Şekil 11. YKN isabet eden hatalar ve koordinat eksenlerine göre sapmaları.



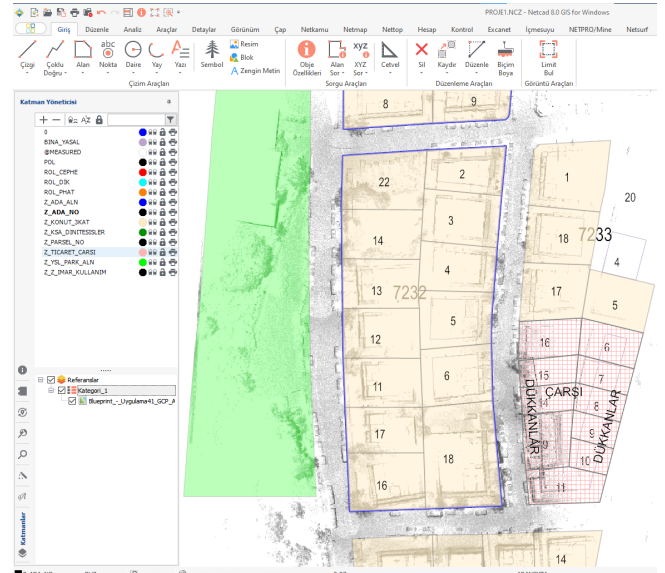
Şekil 12. Yapı adasının ITRF koordinatlı 3B modeli.

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

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



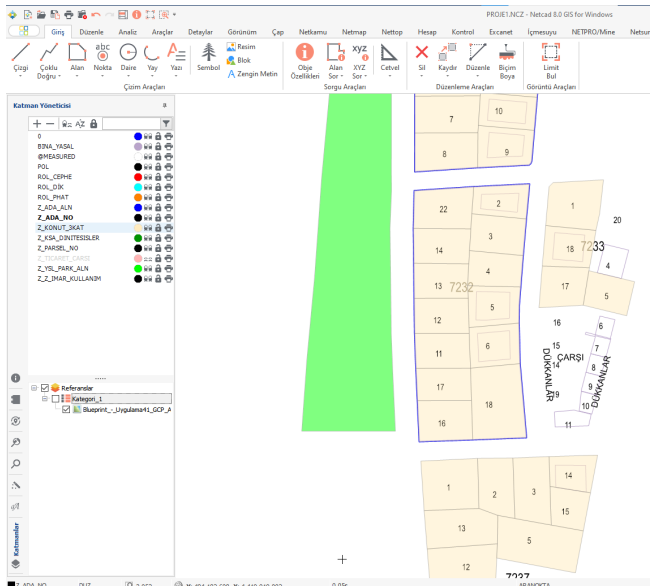
Şekil 13. Yapı adasının ortofotosunun Nectad ortamına aktarılması.



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

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

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



Şekil 14. Nectad'de yapı adasının kadastro paftası.



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

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



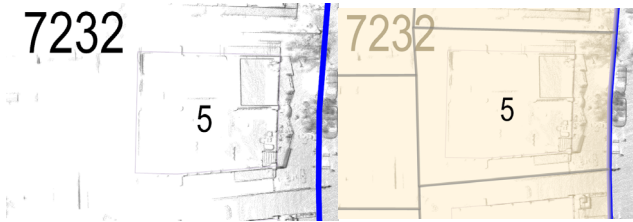
Şekil 17. Parsel 3'ün pafta ve ortofotadaki sınırı.

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



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

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



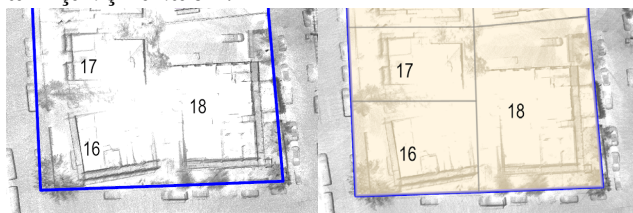
Şekil 19. Parsel 5'in pafta ve ortofotadaki sınırı.

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



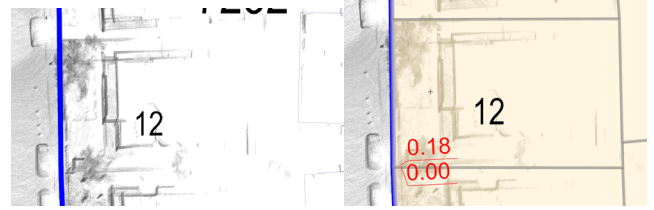
Şekil 20. Parsel 6'nın pafta ve ortofotadaki sınırı.

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



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

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



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

4. Sonuçlar

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

Yazarların Katkısı

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

Murat Yakar: Kontrol, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

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

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

- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022c). Material deteriorations occurring on the facades of the Mor Sergios Bakhos Church. *Advanced Engineering Days (AED)*, 4, 48-51.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2023). Material analysis for restoration application: a case study of the world's first university Mor Yakup Church in Nusaybin, Mardin. *Heritage Science*, 11(1), 1-17.
- Ko, C., Lee, S., Yim, J., Kim, D., & Kang, J. (2021). Comparison of Forest Inventory Methods at Plot-Level between a Backpack Personal Laser Scanning (BPLS) and Conventional Equipment in Jeju Island, South Korea. *Forests*, 12(3), 308.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2012). Digital techniques in cultural heritage documentation. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*.
- Kuşak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Maset, E., Cucchiari, S., Cazorzi, F., Crosilla, F., Fusiello, A., & Beinat, A. (2021). Investigating the Performance of a Handheld Mobile Mapping System in Different Outdoor Scenarios. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, B1-2021.
- Maset, E., Scalera, L., Beinat, A., Visintini, D., & Gasparetto, A. (2022). Performance Investigation and Repeatability Assessment of a Mobile Robotic System for 3D Mapping. *Robotics*, 11(3), 54.
- Masiero, A., Fissore, F., Guarnieri, A., Pirotti, F., Visintini, D., & Vettore, A. (2018). Performance evaluation of two indoor mapping systems: Low-cost UWB-aided photogrammetry and backpack laser scanning. *Applied Sciences*, 8(3), 416.
- NAVVIS şirketi sayfasından 1 Ekim 2021 tarihinde www.navvis-com adresinden erişildi.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I., & Arias, P. (2020). Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction*, 120, 103399.
- Rodríguez-Martín, M., Sánchez-Aparicio, L. J., Maté-González, M. Á., Muñoz-Nieto, Á. L., & Gonzalez-Aguilera, D. (2022). Comprehensive Generation of Historical Construction CAD Models from Data Provided by a Wearable Mobile Mapping System: A Case Study of the Church of Adanero (Ávila, Spain). *Sensors*, 22(8), 2922.
- Sánchez-Aparicio, L. J., Mora, R., Conde, B., Maté-González, M. Á., Sánchez-Aparicio, M., & González-Aguilera, D. (2021). Integration of a wearable mobile mapping solution and advance numerical simulations for the structural analysis of historical constructions: A case of study in San Pedro Church (Palencia, Spain). *Remote Sensing*, 13(7), 1252.
- Thomson C., (2020), (What is SLAM?) 2 Ekim 2021 tarihinde <https://info.vercator.com/blog/what-is-slam> adresinden erişildi.
- Thomson C., (2021), 3 types of terrestrial laser scanners 2. <https://info.vercator.com/blog/3-types-of-terrestrial-laser-scanners> adresinden erişildi.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö. & Alptekin, A. (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure map: a case of Mersin University. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 61-68.
- Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS*, 1103, 1108.
- Vassena, G., & Clerici, A. (2018). Open pit mine 3D mapping by tls and digital photogrammetry: 3D model update thanks to a slam based approach. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 1145-1148.
- Velas, M., Spanel, M., Slezia, T., Habrovec, J., & Herout, A. (2019). Indoor and outdoor backpack mapping with calibrated pair of velodyne LiDARs. *Sensors*, 19(18), 3944.
- Xu, S., Sun, X., Yun, J., & Wang, H. (2020). A new clustering-based framework to the stem estimation and growth fitting of street trees from mobile laser scanning data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3240-3250.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara*.
- Yakar, M., & Karabacak, A., (2023). Giyilebilir Mobil Lidar ve Uygulamaları, İbn: 978-625-8101-40-9, *Atlas Akademi*, Baskı Sayısı: 1, 196 Sayfa, Konya, Türkiye (d).
- Yakar, M., & Kocaman, E. (2018). Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-boyutlu modelleme çalışması ve animasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 133-138.
- Yakar, M., Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). The Use of Laser Scanner in Caves, Encountered Problems and Solution Suggestion. *Universal Journal of Geoscience*, 4(4), 81-88.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoglu, O. (2009). Comparative Evaluation of Excavation Volume by Terrestrial Laser Scanner and Total

- Topographic Station Based Methods. *Lasers in Engineering*, 19(5), 331.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yılmaz, I. (2009). A research on the accuracy of landform volumes determined using different interpolation methods. *Scientific Research and Essay*, 4(11), 1248-1259.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for Li DAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.
- Zhou, S., Kang, F., Li, W., Kan, J., Zheng, Y., & He, G. (2019). Extracting diameter at breast height with a handheld mobile LiDAR system in an outdoor environment. *Sensors*, 19(14), 3212.



© Author(s) 2023.

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