

## iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi

Ramazan Alper Kuçak<sup>\*1</sup>, Serdar Erol<sup>2</sup>, Reha Metin Alkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

iPad Pro  
LiDAR  
Lazer tarayıcı  
Nokta bulutu  
Doğruluk

### Araştırma Makalesi

Geliş:18.04.2022  
Revize:03.06.2022  
Kabul:04.06.2022  
Yayınlanma:10.08.2022



### Öz

Bu çalışmada, Apple iPad Pro LiDAR sensörünün tarama ve doğruluk performansı, profesyonel bir Yersel Lazer Tarayıcının (YLT) performansı ile birlikte karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, profesyonel bir tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ve iki farklı yazılım ile birlikte kullanılan Apple firmasına ait iPad Pro LiDAR sensörü ile, içinde farklı büyüklüklere sahip pek çok objenin yer aldığı bir çalışma ofisi taranmıştır. Yapılan ölçmeler sonrası çalışma ofisinin üç farklı 3-Boyutlu (3B) nokta bulutu üretilmiştir. Ofiste bulunan ve boyutları birkaç cm ile 2 metre arasında değişen bazı objelerin ayırıt uzunlukları bir çelik şerit metre ile mm inceliğinde ölçülmüş ve bu büyüklükler, iki farklı tarayıcıdan üretilen nokta bulutlarından elde edilen değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları profesyonel bir tarayıcı ile, kapalı küçük bir ortamda,  $\pm 0.5$  cm karesel ortalama hata ile 3B nokta bulutu üretilebileceğini göstermiştir. iPad Pro LiDAR sensörü kullanılarak üretilen nokta bulutlarının ise, veri toplamada kullanılan yazılıma bağlı olarak,  $\pm 1-1.5$  cm karesel ortalama hataya sahip olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmadan elde edilen ilk sonuçlar, Apple iPad Pro LiDAR sensörünün, kapalı mekanlarda yapılan uygulamalar için ümit verici bir performans sergilediğini, düşük maliyeti, taşınabilirliği, hızı ve kolay kullanılabilirliği gibi unsurlarıyla da yüksek maliyete sahip profesyonel tarayıcılara önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

## Comparative performance analysis of the iPad Pro LiDAR sensor with a professional terrestrial laser scanner

### Keywords

iPad Pro  
LiDAR  
Laser scanner  
Point cloud  
Accuracy

### Research Article

Received:18.04.2022  
Revised: 03.06.2022  
Accepted:04.06.2022  
Published:10.08.2022

### Abstract

In this study, the scanning and accuracy performance of the Apple iPad Pro LiDAR sensor is investigated comparatively with the performance of a professional Terrestrial Laser Scanner (TLS). In this context, an indoor office containing many objects of different sizes was scanned with the Leica ScanStation C10, a professional scanner, and the Apple iPad Pro LiDAR sensor using together with two different software. After the performed measurements by the scanners, three different 3-Dimensional (3D) point clouds of the work office were produced. The edge lengths of some objects in the office ranging in size from a few cm to 2 meters were measured with a steel tape measure in mm accuracy and these lengths were compared with the values obtained from the point clouds produced from two different scanners. The results of the study showed that a 3D point cloud can be produced with a root mean square error (RMSE) of  $\pm 0.5$  cm in a small indoor environment with a professional scanner. On the other hand, it was observed that the accuracy of the point clouds produced using the iPad Pro LiDAR sensor has  $\pm 1-1.5$  cm RMSE, depending on the software used with it. The first results obtained from this study showed that the Apple iPad Pro LiDAR sensor exhibits promising performance for indoor applications and can be an important alternative to high-cost, geodetic-type professional scanners with its low cost, portability, speed and easy usability.

### \*Sorumlu Yazar

\*kucak15@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1128-1552  
(erol@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7100-8267  
(alkanr@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1981-9783

### Kaynak Göster (APA)

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

## 1. Giriş

LiDAR (Light Detection and Ranging) hızlı bir şekilde, büyük miktarda 3-Boyutlu (3B) nokta bulutu verisi üreten bir ölçme sistemidir (Sanchez Diaz ve ark., 2022; Yakar ve ark., 2021). LiDAR teknolojisi 1960'larda ortaya çıkmış ve ilk olarak havacılık uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz ve Yakar, 2006; Zeybek, 2019). 1970'lerde, LiDAR bir uzaktan algılama sensörü olarak, ormanların, denizlerin, atmosferin ve topoğrafyanın haritalanmasında kullanılmıştır (Özdemir ve ark., 2021). 1980'lerin sonlarına doğru Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Atalet Ölçüm Birimlerinin (IMU) beraberce kullanılmaya başlanmasıyla, LiDAR teknolojisinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ölçme platformu olarak yapılan sınıflandırmaya göre, havadan ve karadan olmak üzere iki tür LiDAR bulunmaktadır (Mehendale ve Neoge, 2020). Hava LiDAR doğası gereği kinematik olarak ölçme yapmaktadır. Yersel LiDAR ise kendi içinde statik ve mobil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Vatandaşlar ve ark., 2022). Günümüzde, hava ve yersel mobil LiDAR sistemleri kamera, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) ve INS sistemlerini içermektedir. LiDAR sistemleri iki yönlü ölçme sistemleridir. Bu sistemler, herhangi bir objeye gönderilen ve objeden yansıyıp geri dönen sinyalin gücüne (yüzeyden yansıyan lazerin enerjisi, yoğunluğu-intensity) göre RGB olarak renklendirilmiş bir nokta bulutu oluşturmaktadır. Kamera bulunduran LiDAR sistemlerinde ise renkli nokta bulutu, ölçme sırasında çekilen resimler kullanılarak oluşturulmaktadır (Kuçak ve ark., 2020; Özendi, 2022).

Temelde sesli-yazılı iletişim, video görüşme, internet erişimi vb. uygulamalar için kullanılan akıllı cihazlarda (telefon/tablet) ve algılayıcı (sensör) teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler, akıllı mobil cihazların temel işlevlerinin çok ötesinde farklı alanlarda kullanılabilmelerinin yolunu açmıştır. Örneğin LiDAR sistemlerinin boyutları küçülmüş ve bu sensörler akıllı iletişim platformlarına entegre edilmeye başlanmıştır. İletişim ve mobil teknoloji sektöründe önemli bir ağırlığa sahip olan Apple firması, üzerinde LiDAR sensörleri bulunan iPad Pro 2020 tablet ve iPhone 12 Pro/Max akıllı telefonlarını 2020 yılında piyasaya sürmüştür (Luetzenburg ve ark., 2021). Profesyonel Yersel Lazer Tarayıcılara göre görece daha düşük maliyete sahip olan bu tür akıllı cihazlar kullanılarak yapılan ölçmelerden üretilen nokta bulutları ve 3-Boyutlu (3B) modeller, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), ormancılık, yer bilimleri, jeoloji, kaza yeri inceleme, kültürel varlıkların belgelenmesi, büyük ölçekli 3B hızlı harita üretilmesi gibi çalışmalarda pek çok meslek disiplininde kullanılmaktadır (Çakir ve ark., 2021; Desai ve ark., 2021; Gollob ve ark., 2021; Luetzenburg ve ark., 2021; Mokroš ve ark., 2021; Murtiyoso ve ark., 2021; Plaß ve ark., 2021; Spreafico ve ark., 2021; Vogt ve ark., 2021; Wang ve ark., 2021; Bobrowski ve ark., 2022; McGlade ve ark., 2022; Tavani ve ark., 2022). Bu tür donanımların kullanıcılarına sağladığı kolay kullanım, hız, doğruluk gibi pek çok avantajları nedeniyle kullanımının artacağı, yeni uygulama alanlarında daha yaygın olarak kullanılacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, profesyonel bir lazer tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ve Apple 12.9 inç iPad Pro tablete entegre olan LiDAR sensörü kullanılarak kapalı bir mekânda yapılan ölçmelerden üretilen 3B nokta bulutlarının doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan uygulama ve elde edilen ilk sonuçlar, izleyen bölümlerde verilmiştir.

## 2. Yöntem

iPad Pro LiDAR sensörünün doğruluk performansını, profesyonel bir Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) ile karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için, İTÜ İnşaat Fakültesinde bulunan bir çalışma ofisinde, tablet kullanımına uygun olarak, yapay hedefler yerine oda içerisindeki doğal hedefler kullanılarak ölçmeler gerçekleştirilmiş ve 3B nokta bulutları üretilmiştir. Ölçmelerde profesyonel Yersel Lazer Tarayıcı olarak Leica ScanStation C10 (bundan sonra kısaca C10 olarak kullanılacaktır) kullanılmıştır (Şekil 1). C10, 'hepsi bir arada (all-in-one)' özellikli uzun-mesafe bir lazer tarayıcısı olup, 50 m mesafeye kadar 4 mm uzunluk ve 6 mm konum doğruluğu ile saniyede 50000 nokta tarayabilmektedir. Dalga boyu 532 nanometre (görünür bölge) olan yeşil renk kullanan sistem, %90 yansıtma gücünde (albedo) 300 m; %18 yansıtma gücünde 134 m menzile sahiptir. Donanım yatayda 360°, düşeyde ise 270° alanda tarama yapabilmektedir. Diğer yandan çalışmada kullanılan Apple iPad Pro, düşük maliyetli (<1000-1500 USD) bir LiDAR tarayıcı sistemine sahip 12.9 inç ekranlı bir tablettir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan donanımlar; (üstte) Leica ScanStation C10, (altta) 12.9 inç Apple iPad Pro

214.9 mm × 280.6 mm × 6.4 mm (en × boy × kalınlık) boyutunda ve 682 gram ağırlığında olan iPad Pro tablete bulunan LiDAR sensörü, impuls (TOF) tekniğini kullanarak uzunluk ölçmektedir. iPad Pro LiDAR sensörünün maksimum ölçme mesafesi donanımın

teknik özelliklerinde 5 m olarak verilmektedir. Cihazla ilgili temel bilgiler üretici firmanın ilgili web sayfasında yer almaktadır (<https://www.apple.com/tr/ipad-pro/specs/>). Ancak tablet için verilen teknik özelliklerin yanında, içinde kullanılan LiDAR sensörüne ilişkin kısıtlı teknik bilgi paylaşılmıştır.

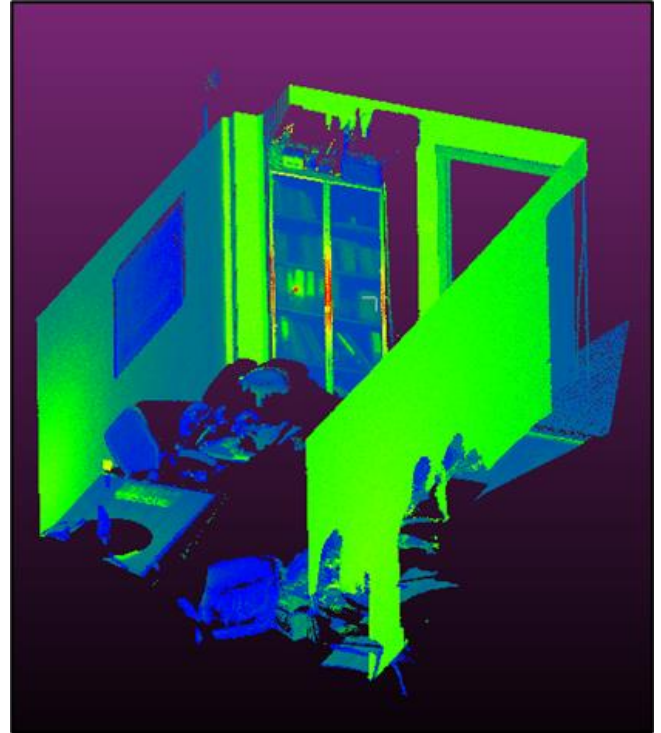
Uygulama alanı olarak seçilen  $2.5\text{ m} \times 4.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  ( $en \times boy \times yükseklik$ ) boyutlarına sahip çalışma ofisinin 3B modelinin elde edilmesi amacıyla, anılan her iki donanımla gün ışığında taramalar yapılmıştır. C10 ile yapılacak ölçme öncesinde tüm çalışma alanını kapsayacak şekilde bir istasyon noktası belirlenmiş ve tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarama için seçilen çalışma ofisi küçük bir hacme sahip olduğu için C10 ile tek bir tarama ile gerekli detaylar elde edilebilmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ile tarama gerçekleştirilirken, zemin ve belirli bir yükseklikteki objelerin de detaylı bir şekilde taranabilmesi için oda içinde hareket edilerek ve objelere yaklaşık 1-1.5 metre yaklaşmak sureti ile bütün oda taranabilmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ile 3B tarama yapabilmek için, ölçme sırasında sensör verilerini işleyen bir yazılım kullanmak gerekmektedir. Bu amaç için, Apple uygulama mağazasında kullanıma sunulan birçok yazılım bulunmaktadır. Polycam, PIX4Dcatch, Scaniverse, SiteScape ve 3D Scanner App bu yazılımlara örnek olarak verilebilir. Burada sunulan çalışmada, yukarıda ismi verilen yazılımlardan, uluslararası literatürde en fazla tercih edilen ve kullanılan ikisi test edilmiştir. Bunlar, "SiteScape Inc." firmasına ait "SiteScape-LiDAR&3D Scanner" yazılımı ve "Laan Consulting Corp." firmasına ait "3D Scanner App" yazılımlarıdır. Çalışmada kullanılan bu iki yazılıma ait temel bazı bilgiler ve ölçmelerde kullanılan seçenekler Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** iPad Pro LiDAR ile nokta bulutu oluşturmak için kullanılan yazılımlar ve ayarları

Yazılım	SiteScape 1.2.1	3D Scanner App 1.1.2
Firma	SiteScape Inc., ABD	Laan Labs, ABD
İnternet adresi	<a href="http://www.sitescape.ai">www.sitescape.ai</a>	<a href="http://www.3dscannerapp.com">www.3dscannerapp.com</a>
Tarama modu	maksimum detay	-
Nokta yoğunluğu	yüksek	5 mm
Nokta boyutu	düşük	-
Maks. derinlik	-	5 m
Nokta Bulutu Formatları	*.RCP, *.e57, *.PLY	*.XYZ, *.PLY, *.LAS, *.e57, *.PTS, *.PCD

İki farklı tarayıcıdan elde edilen üç farklı nokta bulutu verisinin değerlendirilmesinde açık kaynak kodlu CloudCompare yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda, nokta bulutu içindeki objeler ayrı ayrı seçilmiş, istenilen yüzey ve ayrıtları detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmış ve ayrıtlara ait mesafe ölçme işlemleri manuel olarak gerçekleştirilmiştir. CloudCompare yazılımında üretilen 3B nokta bulutları görselleri, C10 için Şekil 2'de, iPad Pro LiDAR için ise Şekil 3'de verilmiştir.

C10 profesyonel, iPad Pro LiDAR ise düşük maliyetli bir lazer tarayıcı olduğu için farklı yoğunlukta nokta bulutu üretmektedirler. Hatta iPad Pro LiDAR sensörünün ürettiği nokta bulutu tarama sırasında kullanılan yazılımın ayarlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, her iki donanım ile üretilen üç farklı nokta bulutunun koordinat sistemleri de birbirinden farklıdır. Nokta bulutlarının yoğunlukları ve koordinat sistemleri birbirinden farklı olduğu için, bu çalışmada, nokta bulutlarının birbirleri ile olan mutlak karşılaştırması yerine nokta bulutları içerisinde bulunan objelerin ayrıt uzunluklarının karşılaştırılması yapılmıştır. Böylelikle, iPad Pro LiDAR ve C10 tarayıcı performansları birbirleri ile karşılaştırılabilir. Çalışma alanı için elde edilen üç farklı nokta bulutunun doğruluğunu belirleyebilmek için, çalışma alanında yer alan keskin hatlara sahip, düzgün geometrik şekilli cisimlerin belirli ayrıtlarının uzunlukları bir çelik şerit metre (ÇŞM) ile milimetre inceliğinde ölçülmüş ve nokta bulutlarından manuel olarak ölçülerek elde edilen ayrıt uzunlukları ile karşılaştırılmıştır. Donanımların doğruluk analizinde kullanılacak referans mesafeler, farklı yüzeylerde, yatay ve düşey doğrultularda olacak şekilde seçilmiş olup, Şekil 4'de gösterilmiştir. ÇŞM ile ölçülüp referans değer olarak kabul edilen uzunluklar, C10 ve iPad Pro LiDAR tarayıcılarından elde edilen nokta bulutlarından türetilen uzunluklar ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Leica ScanStation C10 ile yapılan taramadan elde edilen 3B nokta bulutu



(a)



(b)

Şekil 3. iPad Pro LiDAR sensörü ile yapılan taramalardan elde edilen nokta bulutları (a) "SiteScape" yazılımı (b) "3D Scanner App" yazılımı



Şekil 4. Nokta bulutlarının doğruluk analizi için çelik şerit metre (ÇŞM) ile ölçülen ayrıtlar

Tablo 2. ÇŞM ile ölçülen referans ayrıtlar uzunlukları ve her bir nokta bulutundan elde edilen karşılıkları

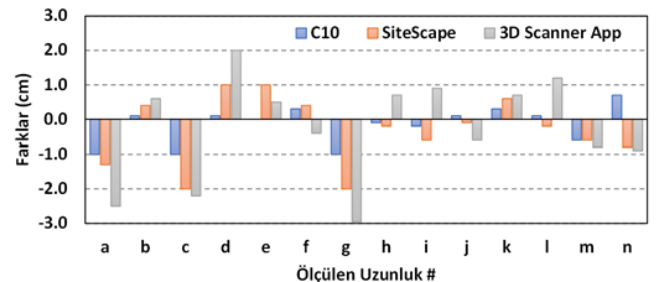
Ölçülen Uzunluk	Referans Uzunluk (ÇŞM) (m)	Leica C10 (m)	iPad Pro LiDAR (m)	
			SiteScape	3D Scanner App
a	1.068	1.078	1.081	1.093
b	0.745	0.744	0.741	0.739
c	0.600	0.610	0.620	0.622
d	0.100	0.099	0.090	0.080
e	0.800	0.800	0.790	0.795
f	0.796	0.793	0.792	0.800
g	1.830	1.840	1.850	1.860
h	0.081	0.082	0.083	0.074
i	0.081	0.083	0.087	0.072
j	0.112	0.111	0.113	0.118
k	0.225	0.222	0.219	0.218
l	2.000	1.999	2.002	1.988
m	2.075	2.081	2.081	2.083
n	0.910	0.903	0.918	0.919

Her bir nokta bulutundan elde edilen ayrıtlar ölçüleri ile referans ölçülerin karşılaştırılması sonucu elde edilen

farklar ve istatistikleri Tablo 3'de verilmiştir. Her bir ayrıtlar için elde edilen farklar aynı zamanda Şekil 5'te grafik olarak verilmiştir.

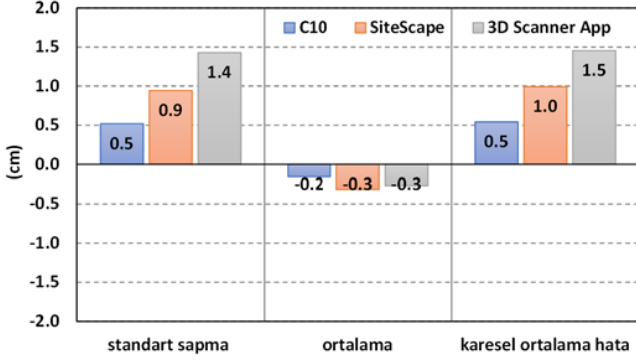
Tablo 3. Referans uzunluklara göre ayrıtlar uzunluk farkları ve farklara ait istatistik bilgiler

Ölçülen Uzunluk	Leica C10 (cm)	iPad Pro LiDAR (cm)	
		SiteScape	3D Scanner App
a	-1.0	-1.3	-2.5
b	0.1	0.4	0.6
c	-1.0	-2.0	-2.2
d	0.1	1.0	2.0
e	0.0	1.0	0.5
f	0.3	0.4	-0.4
g	-1.0	-2.0	-2.9
h	-0.1	-0.2	0.7
i	-0.2	-0.6	0.9
j	0.1	-0.1	-0.6
k	0.3	0.6	0.7
l	0.1	-0.2	1.2
m	-0.6	-0.6	-0.8
n	0.7	-0.8	-0.9
ort	-0.2	-0.3	-0.3
ss	0.5	0.9	1.4
koh	0.5	1.0	1.5



Şekil 5. Nokta bulutlarından elde edilen ayrıtlar uzunlukları ile referans uzunlukları (ÇŞM) arasındaki farklar

Her bir nokta bulutu için elde edilen farkların Tablo 3'te verilen ortalamaları (*ort*), standart sapma (*ss*) ve karesel ortalama hata (*koh*) değerleri grafik olarak ayrıca Şekil 6'da verilmiştir.



**Şekil 6.** 3B nokta bulutundan ölçülen ayrırt uzunluklarının bilinen uzunluklardan olan farklarına ilişkin istatistiksel değerler.

Üç farklı nokta bulutu için elde edilen *karesel ortalama hata (koh)* değerleri kullanılarak, ikili gruplar şeklinde *F* dağılımına göre varyans testi gerçekleştirilmiştir. Varyans testi için öncelikle *F*-test değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$F - test = \frac{koh_i^2}{koh_j^2}, (koh_i > koh_j) \quad (1)$$

Bağıntıda yer alan  $koh_i$  ve  $koh_j$  değerleri sırasıyla *i* ve *j* kümelerine ait *koh* değerleri olup, pay kısmına büyük *koh* değerinin konulması ile *F*-test değeri elde edilmektedir. *F* dağılımına göre gerçekleştirilecek varyans testi için, sıfır hipotezi ( $H_0$ ) ve alternatif hipotez ( $H_a$ ) aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$H_0 : koh_i^2 = koh_j^2 \quad (2)$$

$$H_a : koh_i^2 \neq koh_j^2 \quad (3)$$

Bu aşamadan sonra, kümelerin *koh* değerlerine ait *f* serbestlik dereceleri ve %5 anlamlılık düzeyi için *F* olasılık dağılım tablosundan bir "kritik değer" alınır. Eğer "test değeri", "kritik değeri" aşarsa, sıfır hipotezi reddedilir ve alternatif hipotez kabul edilir. Bu durumda her iki kümenin doğruluklarının birbirinden farklı olduğu ve *j* kümesinin *i* kümesine göre daha doğru olduğu kararına varılır. Aksine, yani "test değeri", "kritik değeri" aşmaz ise sıfır hipotezi kabul edilir ve bu durumda her iki kümenin de aynı doğrulukta olduğuna karar verilir.

Bu çalışmada, üç farklı nokta bulutu için ikili gruplar şeklinde gerçekleştirilen varyans testine göre, iPad Pro LiDAR sensöründen iki farklı yazılım ile üretilen nokta bulutlarının, istatistiksel olarak %95 olasılıkla aynı doğruluğa sahip olduğu, C10 ile üretilen nokta bulutunun ise %95 olasılıkla diğer iki nokta bulutundan farklı olarak daha yüksek doğruluğa sahip bir küme olduğu anlaşılmıştır.

### 3. Bulgular

Tablo 3 ve Şekil 5'de verilen farklar incelendiğinde, profesyonel bir tarayıcı olan Leica ScanStation C10 YLT ile yapılan ölçmelerden elde edilen ayrırt uzunlukları ile, mekânda çelik şerit metre ile milimetre inceliğinde ölçülen değerler arasında 0.2 cm ortalama ile en fazla 1 cm'lik fark elde edilmiştir. iPad Pro LiDAR ile yapılan ölçmelerden elde edilen sonuçlara bakıldığında ise, kullanılan SiteScape yazılımından 0.3 cm ortalama ile en fazla 2 cm'lik fark bulunmuştur. SiteScape yazılımı ile kısa mesafeden yapılan iPad Pro tarama sonucunda profesyonel tarayıcıyla oldukça yakın sonuçlar elde etmek mümkün olmuştur. Diğer yandan, 3D Scanner App yazılımı ile oluşturulan nokta bulutundan, SiteScape yazılımına göre daha büyük farklar elde edildiği görülmüştür. Bu yazılımdan elde edilen en büyük fark 2.9 cm'dir.

Genel olarak çalışmadan elde edilen ilk sonuçlar, taşınabilir mobil cihazlara entegre edilmiş LiDAR sensörlerin kapalı mekânlarda ümit verici bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu çalışma ile, bu tip sensörlerin pek çok uygulamada düşük maliyeti, taşınabilirliği, hızı ve kolay kullanılabilirliği gibi özellikleriyle pahalı profesyonel tip tarayıcılara önemli bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Ancak sistemin pek çok avantajına karşın bazı eksiklikleri de bulunmaktadır. Bunlardan en öne çıkanı, tablette/televonda bütünsel olarak bulunan LiDAR sensörlerinin genellikle kısıtlı bir tarama menziline sahip olmasıdır. Örneğin çalışmada kullanılan iPad Pro için maksimum ölçme uzaklığı 5 m olarak verilmektedir (Wang ve ark., 2021). Bir başka husus da tarama sonucu elde edilen nokta bulutlarının doğruluğunun tarama sırasında kullanılan yazılım ve yazılımda tercih edilen seçeneklere bağlı olmasıdır.

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek doğruluklu profesyonel seviyede tarama kabiliyetine sahip olan bir yersel lazer tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ile oldukça yeni bir tarayıcı alternatifi olan iPad Pro LiDAR donanımının kapalı mekân ölçme performansları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3 ve Şekil 5'de paylaşılan ölçü farkları ve Şekil 6'da verilen doğruluk ölçütleri incelendiğinde, C10 tarayıcısının gerçek değer olarak kabul edilen çelik şerit metre ölçmelerine en yakın sonuçları ürettiği ve milimetre-düzeyinde farklar elde edildiği gözlemlenmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ve SiteScape yazılımı ile elde edilen sonuçlar irdelendiğinde ise, birkaç istisna hariç 1 cm ve altında farklara ulaşmak mümkün olmuştur. Buna karşın kullanılan diğer yazılım olan 3D Scanner App'dan daha düşük bir doğruluk performansı elde edilmiştir. Zira bu yazılımdan 3 cm'ye varan farklara ulaşılmıştır. Genel olarak ifade edilecek olursa, iPad Pro LiDAR donanımı kullanılarak iki farklı yazılım ile cm doğrulukla nokta bulutlarının üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda, genel olarak iç mekânlarda 5 metreye kadar taramanın mümkün olabileceği, ancak 3 metre ve daha yakın mesafelerde iPad Pro LiDAR sensörünün daha iyi sonuçlar üretebilecek şekilde tarama yapabildiği gözlemlenmiştir. Bununla

birlikte, Apple iPad Pro LiDAR kullanımı sırasında ölçme mesafesinin artmasıyla daha çok gürültü içeren nokta bulutu verisi elde edildiği tecrübe edilmiştir. Çok fazla detaya sahip olan objelerin taranması sırasında ise, kullanılan yazılımın uygun tarama seçenekleriyle birlikte yaklaşık olarak 1 metre mesafeden ölçmelerin yapılması durumunda ancak daha kaliteli nokta bulutları elde edilebilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, hangi donanımla yapılırsa yapılsın lazer tarama yönteminin diğer klasik yersel ölçme teknikleriyle kıyaslanamayacak kadar hızlı ve detaylı bir şekilde muhtelif büyüklükteki objelerin üç boyutlu modellerinin üretilmesine imkân sağlayacağını göstermiştir. Buna ek olarak obje yoğunluğu fazla olan kapalı mekanlarda, klasik yersel ölçmelerle ölçülmesi oldukça güç, hatta imkânsız olan küçük ve karmaşık yüzeyli objelerin ister profesyonel, isterse taşınabilir iPad LiDAR türü donanımlarla yapılacak ölçmelerle yüksek çözünürlüklü 3 Boyutlu nokta bulutlarının kolaylıkla elde edilebileceği de görülmüştür. Hiç şüphesiz çalışmada kullanılan jeodezik yersel tarayıcı en yüksek doğruluğu sağlamakla birlikte, bu tür donanımların yüksek maliyeti ve uygulamadaki bazı kısıtları göze çarpmaktadır. Buna mukabil iPad Pro türü görece düşük maliyetli donanımların (<1000-1500 USD) pek çok yakın mesafe gerektiren küçük alan içindeki çalışmalarda gereksinim duyulan doğrulukları sağlayabileceği ve yersel sistemlere pek çok alanda önemli bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Hiç şüphesiz iPad Pro LiDAR donanımı ve uygun yazılımının hassas jeodezik uygulamaların tüm gereksinimlerini karşılamasa bile, başta yakın mesafe rölöve çalışmaları olmak üzere, küçük kapalı mekanlarda yapılacak pek çok uygulamada rahatlıkla tamamlayıcı ölçme sistemi olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Örneğin, bu tür bir donanım ile küçük ve orta ölçekli yapı projelerinde yersel lazer nokta bulutu verisinin eksik olduğu durumlarda boşlukları doldurmak veya birden fazla gün boyunca daha yoğun taramaları yapmak yerine, işin birçok alt parçaya ayrılarak hızlandırılması sağlanabilecektir. Genel olarak ifade edilecek olursa, bu tür donanımların -şimdiki haliyle- profesyonel YLT donanım kullanımının yerini alması söz konusu olmasa da, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), ormancılık, yer bilimleri, jeoloji, kültürel varlıkların belgelenmesi, büyük ölçekli 3B hızlı harita üretme gibi ölçme uygulamalarında ciddi bir alternatif haline gelmesi beklenmektedir. Gelecekte, sensör teknolojisinde gerçekleşecek yeniliklere bağlı olarak, akıllı telefon ve tabletlerde kullanılan LiDAR sensörlerin teknik özelliklerinin gelişeceği ve bu donanımlarla daha uzak mesafelerde ölçme yapılabilirliği beklenmektedir.

Çalışmanın sonraki aşamasında, elde edilecek doğruluğun, tarama mesafesine, dış mekân kullanımına, ışık durumuna, tarama hızına (yürüme hızına) ve yazılım tarama seçeneklerine bağlı olarak ne ölçüde etkileneceğinin araştırılması planlanmaktadır.

## Bilgilendirme

Bu çalışma, ilk sonuçları 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumunda (12-14 Mayıs 2022-Mersin) aynı

yazarlar tarafından sunulan özet bildirinin genişletilmiş halidir (Kuçak ve ark., 2022).

## Teşekkür

Çalışmanın veri toplama aşamasında kullanılan donanım desteğinden dolayı İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü Alet Laboratuvarına ve Z. Sude Alkan'a teşekkür ederiz.

## Yazarların katkı oranı

**Ramazan Alper Kuçak:** Literatür taraması, Veri toplama, Veri işleme, Araştırma, Makale yazma, Analiz ve yorum. **Serdar Erol:** Fikir, Tasarım ve dizayn, Denetim ve danışmanlık, Veri işleme, Makale yazma ve düzenleme, Analiz ve yorum, Eleştirel inceleme. **Reha Metin Alkan:** Fikir, Tasarım ve dizayn, Veri toplama, Denetim ve danışmanlık, Makale yazma ve düzenleme, Analiz ve yorum, Eleştirel inceleme

## Çatışma beyanı

Çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Bobrowski, R., Winczek, M., Zięba-Kulawik, K., & Weżyk, P. (2022). Best Practices to Use the iPad Pro LiDAR for Some Procedures of Data Acquisition in the Urban Forest. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4030573>
- Çakir, G. Y., Post, C. J., Mikhailova, E. A., & Schlautman, M. A. (2021). 3D LiDAR Scanning of Urban Forest Structure Using a Consumer Tablet. *Urban Science*, 5(4):88. <https://doi.org/10.3390/urbansci5040088>.
- Desai, J., Liu, J., Hainje, R., Oleksy, R., Habib, A., & Bullock, D. (2021). Assessing Vehicle Profiling Accuracy of Handheld LiDAR Compared to Terrestrial Laser Scanning for Crash Scene Reconstruction. *Sensors*, 21(23):8076. <https://doi.org/10.3390/s21238076>
- Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., & Nothdurft, A. (2021). Measurement of Forest Inventory Parameters with Apple iPad Pro and Integrated LiDAR Technology. *Remote Sensing*, 13(16):3129. <https://doi.org/10.3390/rs13163129>.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & İşiler, M. (2020). Comparative Accuracy Analysis of LiDAR Systems. *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 34-40.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & Alkan, R. M. (2022). iPad Pro LiDAR Sensörünün Kapalı Mekân Ölçmelerindeki Performans Analizi. 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu, 12-14 Mayıs 2022, Mersin, Türkiye.
- Luetzenburg, G., Kroon, A., & Bjørk, A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11(1):22221. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>.
- McGlade, J., Wallace, L., Reinke, K., & Jones, S. (2022). The Potential of Low-Cost 3D Imaging Technologies for

- Forestry Applications: Setting a Research Agenda for Low-Cost Remote Sensing Inventory Tasks. *Forests*, 13(2):204. <https://doi.org/10.3390/f13020204>
- Mehendale, N., & Neoge, S. (2020). Review on LiDAR Technology. <http://doi.org/10.2139/ssrn.3604309>.
- Mokroš, M., Mikita, T., Singh, A., Tomaščík, J., Chudá, J., Weżyk, P., Kuželka, K., Surový, P., Klimánek, M., Zięba-Kulawik, K., Bobrowski, R., & Liang, X. (2021). Novel Low-cost Mobile Mapping Systems for Forest Inventories as Terrestrial Laser Scanning Alternatives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104:102512. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102512>
- Murtiyoso, A., Grussenmeyer, P., Landes, T., & Macher, H. (2021). First Assessments into the Use of Commercial-Grade Solid State LiDAR for Low Cost Heritage Documentation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2021 XXIV ISPRS Congress, 599-604. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-599-2021>
- Özdemir, S., Akbulut, Z., Karslı, F., & Acar, H. (2021). Automatic extraction of trees by using multiple return properties of the lidar point cloud. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 20-26. <https://doi.org/10.26833/ijeg.668352>.
- Özendi, M. (2022). Kültür varlıklarının yersel lazer tarama yöntemi ile dijital dokümantasyonu: Zonguldak Uzun Mehmet Anıtı örneği. *Geomatik*, 7(2), 139-148. <https://doi.org/10.29128/geomatik.917528>.
- Plaß, B., Emrich, J., Götz, S., Kernstock, D., Luther, C., & Klauer, T. (2021). Evaluation of Point Cloud Data Acquisition Techniques for Scan-to-BIM Workflows in Healthcare. *FIG e-Working Week 2021*, Netherlands, 21-25 June 2021.
- Sanchez Diaz, B., Mata-zayas, E. E., Gama-campillo, L. M., Rincon-ramirez, J. A., Vidal-garcia, F., Rullan-silva, C. D., & Sanchez-gutierrez, F. (2022). LiDAR modeling to determine the height of shade canopy tree in cocoa agrosystems as available habitat for wildlife. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 283-293. <https://doi.org/10.26833/ijeg.978990>.
- Spreafico, A., Chiabrando, F., Teppati Losè, L., & Giulio Tonolo, F. (2021). The iPad Pro Built-in LiDAR Sensor: 3D Rapid Mapping Tests and Quality Assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B1-2021, 63-69. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2021-63-2021>
- Tavani, S., Billi, A., Corradetti, A., Mercuri, M., Bosman, A., Cuffaro, M., Seers, T., & Carminati, E. (2022). Smartphone Assisted Fieldwork: Towards the Digital Transition of Geoscience Fieldwork Using LiDAR-equipped iPhones. *Earth-Science Reviews*, 227:103969. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103969>
- Vogt, M., Rips, A., & Emmelmann, C. (2021). Comparison of iPad Pro's LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies*, 9(2):25.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M., Çankaya, E. Ç., Demiraslan, T., Şahin, C., Gündüz, Y., Korkmaz, Ü., & Avcı, M. L. (2022). El tipi mobil LiDAR teknolojisinin orman envanterlerinde kullanımı: Artvin-Şavşat örneği. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 9 (1), 81-96.
- Wang, X., Singh, A., Pervysheva, Y., Lamatungga, K. E., Murtinová, V., Mukarram, M., Zhu, Q., Song, K., Surový, P., & Mokroš, M. (2021). Evaluation of iPad Pro 2020 LiDAR for Estimating Tree Diameters in Urban Forest. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VIII-4/W1-2021, 105-110. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W1-2021-105-2021>
- Yakar, İ., Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G., & Bilgi, S. (2021). Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. *Geomatik*, 6(3), 217-226. <https://doi.org/10.29128/geomatik.761475>.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). LiDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Zeybek, M. (2019). El-tipi LiDAR ölçme sistemleri ve 3B veri işleme. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 1(1), 10-15.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>