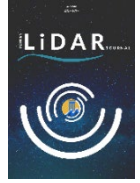




Türkiye LiDAR Dergisi

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

e-ISSN 2717-6797



Akıllı Telefon iPhone LiDAR Tarayıcısının Altyapı Çalışmalarında Uygulanabilirliği

Mustafa Zeybek ^{1*}

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Güneysınır Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 42490, Konya, Türkiye;
(mzeybek@selcuk.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
mzeybek@selcuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Zeybek, M. (2024). Akıllı Telefon iPhone LiDAR Tarayıcısının Altyapı Çalışmalarında Uygulanabilirliği. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 6(1), 01-09.

Geliş : 10.12.2023
Revize 1 : 13.03.2024
Revize 2 : 19.04.2024
Kabul : 06.05.2024
Yayınlama : 30.06.2024

Özet

Son zamanlarda ışık algılama ve mesafe ölçme (LiDAR) sensörlerinin akıllı telefonlara entegre edilmesi, fotoğraf odak uzaklığının iyi ayarlanmasının yanı sıra üç boyutlu (3B) iç ve dış mekân haritalama için yepyeni bir alternatif ölçme aracı olarak yerini almıştır. Bu yeni sistem sayesinde tarama teknolojisi farklı disiplinlerde sivil kullanıma kapılarını aralasa da veri kalitesinin jeodezik LiDAR ölçme seviyesi için henüz oldukça erken. Küçük detayların ölçülmesini gerektiren işlemlerde sistem tamamen güvenilir olmayabileceği daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir. Ancak, bu durum, akıllı telefon LiDAR'larının harita yapımında kullanımına tamamen engel değildir. Bu makale, Apple 14 Pro akıllı cihazının dış ortamlarda, özellikle altyapı çalışma kanallarının 3B modellemesinde belirli seviyelerde haritalandırılmasına imkân verip veremeyeceğini tartışmaktadır. Özellikle, kanalizasyon, içme suyu gibi altyapı tesislerine ait 3B haritaları kanal yapı ortamlarının yeniden yapılandırılması, daha sonra yapılması planlanan bakım ve onarım çalışmaları için önemli bir konudur. Bu konuyla ilgili örnek çalışma alanı, Selçuk Üniversitesi Güneysınır Meslek Yüksekokulu doğal gaz bağlantı hattı olarak belirlenmiştir. Hatta ait geometrik yapı ve rölatif konum belirleme çalışması yapılmıştır. Altyapı çalışmaları sırasında farklı yapılar ve sistemler tespit edilmiştir. Bu katmanların belirlenmesi, sonraki kazı aşamalarında sağlayacağı bilgiler açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: iPhone, LiDAR, 3B, Nokta bulutu, Altyapı.

Applicability of Smartphone Iphone Lidar Scanner in Infrastructure Studies

*Corresponding Author:
mzeybek@selcuk.edu.tr

Research Article

Citation: Zeybek, M. (2024). Applicability of Smartphone Iphone Lidar Scanner in Infrastructure Studies. *Turkish Journal of LiDAR*, 6(1), 01-09 (in Turkish).

Received : 24.11.2023
Revised 1 : 13.03.2024
Revised 2 : 19.04.2024
Accepted : 06.05.2024
Published : 30.06.2024

Abstract

The recent integration of light detection and ranging (LiDAR) sensors into smartphones has provided a brand new alternative surveying tool for three-dimensional (3D) indoor and outdoor mapping, as well as fine-tuning photo focal length. Thanks to this new system, scanning technology opens the doors to civilian use in different disciplines, but it is still too early for the data quality to reach the level of geodetic LiDAR surveying. Prior research has demonstrated that the system might not be totally dependable for procedures requiring the measurement of minute details. This does not, however, preclude the creation of maps using smartphone LiDAR. This paper discusses whether the Apple 14 Pro smart device can enable certain levels of mapping in outdoor environments, especially 3D modeling of infrastructure working channels. In particular, 3D maps of infrastructure facilities such as sewerage and drinking water are important for reconstructing canal building scenes and for subsequent maintenance and repair works. The case study area is the natural gas connection line of Selcuk University Guneyssinir Vocational School. The geometric structure and relative positioning of the line were determined. Different structures and systems were identified during the infrastructure works. The identification of these layers is considered to be important in terms of the information they will provide in the following excavation phases.

Keywords: iPhone, LiDAR, 3D, Point cloud, Infrastructure.

1. Giriş

Son yirmi yıl içinde lazer tarama teknolojisi sürekli gelişerek haritalama faaliyetlerine büyük katkılar sağlamıştır. Farklı firmaların sektöre girmesiyle artan rekabet, tarama sistemlerinin ilerlemesine ve cihaz fiyatlarının önemli ölçüde düşmesine katkıda bulunmuştur. Son birkaç yıl içinde, jeodezik tarama sistemlerindeki yeniliklere ek olarak, sırtta taşınabilen, elde taşınabilen ve akıllı telefonlara entegre edilebilen lazer tarama sensörleri geliştirilmiştir. Apple, bu alanda 2020 yılında Pro modelleriyle piyasaya ilk adımını atmıştır (Apple, 2020; Díaz-Vilariño vd., 2022).

Işık Algılama ve Mesafe Ölçme (LiDAR) sistemi, lazer ışını kullanarak objelerin mesafelerini ve konumlarını ölçen optik bir düzendir. Bu sistem sayesinde, objenin yüzeyi ve karakteristiği hakkında bilgiler, ışık ölçümleriyle üç boyutlu (3B) ve yüksek konumsal hassasiyetle elde edilmektedir. Lazer tarama ölçme tekniği, günümüzde yersel, mobil ve havasal olmak üzere üç temel grupta sınıflandırılmaktadır (Sevgen & Karslı, 2020; Zeybek, 2021; Suleymanoglu vd., 2024). Literatürde, lazer tarama sistemleri genellikle "LiDAR" terimi ile adlandırıldığı için bu çalışmada da "LiDAR" terimi kullanılmıştır (Killinger, 2014).

Sistem, jeodezik ölçümleri de içerecek şekilde son derece doğru, hızlı ve yoğun 3B bilgi sağlayan nokta bulutu verileri oluşturmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, LiDAR sistemleri pek çok disiplinde kullanılmaktadır (Cetin & Yastikli, 2023). LiDAR ölçme tekniğinin kullanılacağı araştırmalarda, gerekli detayları ve bilgileri elde etmek amacıyla en uygun LiDAR sistemini seçmek, proje finansmanını planlamak ve ham LiDAR verilerini son kullanıcı için anlamlı bilgilere dönüştürecek donanım, yazılım ve personel eğitimlerine karar vermek büyük önem taşımaktadır.

Özellikle erişimi zor olan ve hızlı veri toplama gerektiren alanlarda, LiDAR sistemleri etkili bir ölçme aracı olarak değer görmektedir. (Shen vd. 2024). Bu alanlar, orman araştırmaları (Akay vd., 2009; Cetin & Yastikli, 2023; Gollob vd., 2021), jeolojik ölçmeler (Zeybek vd., 2015), kentsel planlama alanları (Sevgen, 2019), geniş alanlarda topoğrafik harita üretimi, doğal afetlerin izlenmesi (Huang vd., 2021), yol geometrisi (Soilan vd., 2019; Suleymanoglu vd., 2023), iç mekan modellemesi ve taraması (Yiğit vd., 2023) ve diğer (Seyfeli & Ok, 2022) pek çok disiplin örnek olarak verilebilir.

Önemli altyapıların 3B haritalanması, envanterinin oluşturulması ve sürekli izlenmesi, mevcut ve potansiyel tehlikelere karşı dirençlerinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkelerde kritik altyapılar, enerji ve kamu hizmetleri,

finans, gıda, ulaşım, bilgi ve iletişim teknolojileri, sağlık, su, güvenlik ve imalat gibi çeşitli sektörler temelinde sınıflandırılmakta ve bu kritik altyapı bileşenleri, LiDAR gibi yöntemlerle etkin bir şekilde izlenmektedir (Sharifisoraki vd., 2023). Bu teknoloji, özellikle yersel ve havasal sistemler vasıtasıyla gaz, petrol ve içme suyu boru hatları ile enerji üretimi ve iletimi gibi kritik altyapı bileşenlerinin izlenmesinde ve güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir (GIM International, 2022).

Teknolojik ilerlemeler sayesinde, LiDAR sistemleri yapı sağlığı izlemesi gibi kritik alanlarda 3B nokta bulutu oluşturma ve yapı analizleri için giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu alanda, veri toplama ve işleme hızını artırarak zaman tasarrufu sağlayan, daha hızlı, verimli ve hesaplama açısından etkin, maliyeti düşük yapı sağlığı izleme sistemleri geliştiren çeşitli gruplar ve çalışmalar bulunmaktadır. Bu metodolojiler, yapıların durumunu hızla değerlendirmeyi ve potansiyel sorunları erken aşamada tespit etmeyi mümkün kılar; böylece önleyici bakım ve onarımlar zamanında ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilir (Kaartinen vd., 2022).

Son yıllarda, sivil kullanım için önemli bir teknolojik ilerleme olarak, akıllı telefonlara LiDAR sistemleri entegre edilmiştir (Losé vd., 2022). Bu tür sistemler, temelde genel amaçlı sensörler olarak tasarlanmıştır ve son kullanıcıları hedef almakta, ancak profesyonel özelliklerle donatılmamışlardır. Henüz jeodezik ölçüm seviyelerine ulaşabilen akıllı telefon sensörleri piyasaya sürülmemiş olsa da, elde edilen hassasiyet düzeyleri bazı haritalama işlemleri için yeterli bulunmuştur. Bu gelişme, kullanıcıların günlük cihazlarıyla belirli haritalama faaliyetlerini gerçekleştirmelerine imkan tanıyarak, teknolojinin erişilebilirliğini ve uygulama alanlarını genişletmiştir (Kuçak vd., 2023).

iPhone 13 Pro ve Recon-3D cihazlarının bir arada kullanıldığı bir çalışmada (Kottner vd., 2023), üç farklı senaryo üzerinden testler gerçekleştirilmiştir. Ölçme süresi ortalama 2 dakikadan daha kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Yapılan kontrol ölçmelerinde, 0,10 cm, 0,69 cm ve 0,17 cm ölçü farklarına ulaşılmış; ve bunlarla birlikte 0,22 cm genel ortalama mutlak hata ile 0,18 cm standart sapma değeri elde edilmiştir. Bu bulgular, kullanılan metodolojinin yeterli doğrulukta ve makul seviyelerde tekrar edilebilir 3B nokta bulutu verileri üretmeye imkan tanıdığını ortaya koymuştur.

Bu araştırmada, iPhone 14 Pro akıllı telefon ve 3dScanner app (3DScanner App, 2023) uygulaması kullanılarak Selçuk Üniversitesi Güneysinır Meslek Yüksekokulu'nun doğal gaz bağlantı hattının (PE80) envanteri oluşturulmuş ve bir metodolojinin geliştirilebilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma, akıllı telefon teknolojileri ve uygulamalarının altyapı

tesislerinin envanter çıkarma ve analiz süreçlerinde uygulanabilir ve etkili çözümler sunup sunamayacağını incelemeyi hedeflemektedir.

2. Materyal ve Metot

Apple'ın en son ürünlerine entegre edilen lazer sensörleri hakkında resmi teknik detaylar sınırlı olmasına rağmen, literatür taramaları bu sensörlerin, geleneksel LiDAR sistemlerine göre özellikle otonom araç ve robotik uygulamalarda daha yüksek ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik sunmayı hedefleyen katı hal LiDAR (SSL) teknolojisine dayandığını ortaya koymaktadır (Luetzenburg vd.,2021). Bu tür bir LiDAR, mekanik motorlu parçaların kullanımını azaltarak daha dayanıklı ve güvenilir bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır. Apple'ın LiDAR sensörü, ölçülen noktaları cihazın Bionic çipinde çalışan bilgisayarlı görüş algoritmaları ile desteklenen diğer kameralar ve hareket sensörlerinin verileriyle birleştirilerek, daha kapsamlı ve doğru bir görüntü elde etmeyi sağlar. Bu sensörlerin belirlenen menzili 5 metredir ve yapılan araştırmalar, iPad ve iPhone cihazlarında kullanılan LiDAR sensörlerinin teknik özelliklerinin benzer olduğunu göstermiştir (Benvenuto vd., 2022).

Literatürde LiDAR sensörü içeren akıllı telefonların kullanımıyla ilgili farklı uygulamalar yer almaktadır (Günen vd., 2023; Monsalve vd., 2023; Vacca, 2023). Bu çalışmada ücretsiz "3D Scanner app" uygulaması kullanılmıştır (3DScanner App, 2023). Çalışma alanında üç farklı tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sırasında cihazın yavaş ve yumuşak hareket ettirilmesine özen gösterilmiş, hızlı ve keskin dönüşlerden kaçınılarak tarama kalitesinin korunması sağlanmıştır. Yüzey taraması için en iyi sonuçları alabilmek adına farklı ölçme metodolojileri geliştirilebilir. Ancak, görüş açısının kısıtlı olduğu kanal gibi çalışma alanlarında, iyi bir nokta bulutu elde etmek için en az iki karşılıklı ve örtüşen taramanın yeterli olduğu görülmüştür.

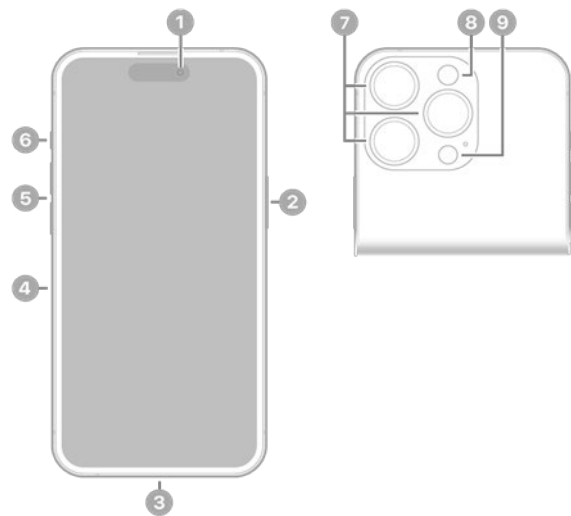
3D Scanner App'te tarama yapmak için uygulamadaki kırmızı düğmeye basmak yeterlidir. Uygulamada belirli bir tarama süresi olmamakla birlikte, tarama verisi telefonun işlemci ve hafızasını zorlayacak boyutlara ulaştığında otomatik olarak sonlanır. Tarama tamamlandığında, uygulama ham veriyi işleyerek renk bilgisiyle zenginleştirilmiş nokta bulutu oluşturur. Tarama sırasında, kameradan alınan görüntülerle nokta bulutları renklendirilir ve noktalar sıkıştırılarak LAS dosya formatında kaydedilir.

2.1. Apple iPhone 14 Pro LiDAR

Bu makale, Apple iPhone 14 Pro akıllı telefonunda bulunan ve tüketicilere yönelik düşük maliyetli bir LiDAR sensörünü incelemektedir. Bu sensör, yakın kızılötesi spektrumunda lazer ışığı yayan ve düşey aralıklı yüzey yayımlı lazer (VCSEL) temelli doğrudan Zaman Uçuşu (dTOF) teknolojisini kullanmaktadır (Teo & Yang, 2023). Sensör, VCSEL ve tek fotonlu fotodiyot teknolojisini entegre ederek, her görüntü karesinde 576 noktayı tespit edebilme kapasitesine sahiptir (Teo & Yang, 2023). LiDAR Sensörü akıllı telefonun arka bölümünde sağ alt kısmında yer almaktadır (Şekil 1).

2.2. Nokta Bulutlarında Profil ve Kesit Ölçmeleri

Kanal hattının yönü boyunca veya buna dik olarak elde edilen nokta bulutu verisinin iki boyutlu (2B) görselleştirilmesi, düşey yapıları daha net görselleştirmek, sınıflandırma sonuçlarını detaylı incelemek veya farklı enterpolasyon yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için kritik bir yöntemdir. Özellikle, kanal hattı gibi karmaşık 3B nokta bulutlarından bilgi çıkarımı zorlayıcı olabilir. 2B görüntüleme, bu zorluğu aşmada ve süreci basitleştirmede önemli bir araçtır. Bu uygulama için iki temel noktanın belirlenmesi ve kesit kalınlığının kanal genişliğine uygun ayarlanması gerekmektedir. Nokta bulutu, bu kriterlere göre kırılarak işlenir. X, Y ve Z koordinatlarının kullanımı, özellikle X-Z ve Y-Z profillerinin çizimi için yaygındır ve bu, belirli yapıların ve özelliklerin daha detaylı incelenmesini sağlar.



Şekil 1. LiDAR Sensörü konumu (1-8: Telefonun diğer fonksiyon tuş ve sensörleri),(9: LiDAR sensörü) (Apple, 2023).

2.3. Nokta Bulutların Doğrusal Hat Çizimleri

Nokta bulutları, 3D modelleme ve çizimler için son derece değerli veri kaynaklarıdır. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımları, bu verilerin işlenmesi için ideal platformlar sunar. CAD yazılımlarının farklı modülleri sayesinde kullanıcılar, 3B nokta bulutları üzerinden detaylı modellemeler ve çizimler yapabilirler. 3B nokta bulutlarından doğrusal hat çizimleri yapılması için CAD yazılımlarında takip edilmesi gereken adımlar şunlardır:

1. Nokta Bulutlarını Projeye Aktarma: İlk adım, 3B nokta bulutunun CAD yazılımına aktarılmasıdır. Bu işlem LAS, OBJ, DXF, STL, PLY gibi çeşitli formatlarda gerçekleştirilebilir. Her CAD yazılımının desteklediği belirli nokta bulutu formatları vardır, bu yüzden uygun formatın seçilmesi önemlidir.
2. Noktaların Georeferanslanması: İçe aktarılan nokta bulutunun, lokal koordinat sistemlerinden ulusal veya uluslararası referans sistemlerine entegrasyonu gereklidir. Bu işlem, kontrol noktaları kullanılarak yapılır ve noktaların 3B uzayda rastgele değil, gerçek konumlarını yansıtabilecek şekilde düzenlenmesini sağlar. Bu adım, modelin doğruluğunu ve kullanımını artırır.
3. Doğrusal Hat Çizimi: Nokta bulutunun koordinatlandırılmasını takiben, CAD yazılımındaki çizim araçları kullanılarak nokta bulutu üzerinde 2D veya 3D hatlar çizilir. Bu işlem, tasarımın veya analizin gereksinimlerine uygun olarak doğrusal yapıları belirlemek amacıyla manuel veya otomatik yöntemlerle gerçekleştirilir.

Bu süreç, CAD yazılımlarının esnekliği ve çeşitli araçları aracılığıyla karmaşık 3D nokta bulutlarını anlamlı ve kullanışlı tasarımlara çevirme olanağı sunmaktadır.

2.4. Nokta Bulutlarında Silindir Tespiti

Bu bölümde, nokta bulutlarından yarım veya üç çeyrek görünüme sahip potansiyel boru hatlarının tespiti için yarı otomatik veya manuel silindir uygulama süreci detaylandırılmıştır. Bu süreç, doğruluk ve verimlilik açısından önemli adımları içerir:

1. Nokta Bulutunun İşlenmesi: İlk adım olarak, gerçek yer koordinatlarına uygun şekilde düzenlenmiş nokta bulutlarından başlanır. Gürültü ve istenmeyen noktaların ayıklanması bu aşamada gerçekleştirilir. Gürültüyü azaltmak ve istenmeyen noktaları temizlemek için çeşitli filtreleme ve düzenleme teknikleri kullanılır. Eğer

bu işlemler yapılmazsa, kullanılacak olan hazır geometrik modeller, bu istenmeyen noktalardan olumsuz etkilenebilir.

2. Silindirik Yapıların Tespiti: Nokta bulutu içindeki potansiyel silindirik yapıların tespiti için literatürde bir dizi yöntem bulunmaktadır. Hough Dönüşümü (Rabbani & Van Den Heuvel, 2005), RANSAC (Random Sample Consensus) (Bolles & Fischler, 1981), ve LSE (Least Square Error) (Lukács vd., optimizasyon teknikleri gibi yöntemler, kenar tespiti, nokta bulutlarının segmentasyonu ve yüzey noktalarının modellenmesi gibi süreçlerde kullanılır. Bu teknikler yardımıyla, tespit edilen silindirik yapılar için en uygun geometri hesaplanır ve böylece, elde edilen silindir yarıçapı, uzunluğu ve eksen normalleri gibi özellikler en düşük hata oranıyla belirlenir.

2.5. Röper İşlemi

Altyapı kanallarında bulunan doğal gaz boru hatları, kablolar ve diğer tesislerin yerlerinin tespit edilmesi sürecinde, çevredeki sabit istasyonlardan alınan gözlemlerle yapılan röperleme işlemi büyük önem taşır. Bu işlem, çevredeki sabit istasyonların konumlarının belirlenmiş ve LiDAR teknolojisi ile taranmış olmasını gerektirir. Bu sabit noktalar hem kontrol hem de röper noktası olarak kullanılır. Yeniden kazı yapıldığında, bu sabit noktalardan alınan ölçümlerle, yükseklik ve mesafe belirlenerek olası kazaların önüne geçilir. Bu yöntem, kazı sırasında meydana gelebilecek hasar ve kazaları önleyerek altyapı tesislerinin korunmasına ve güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunur.

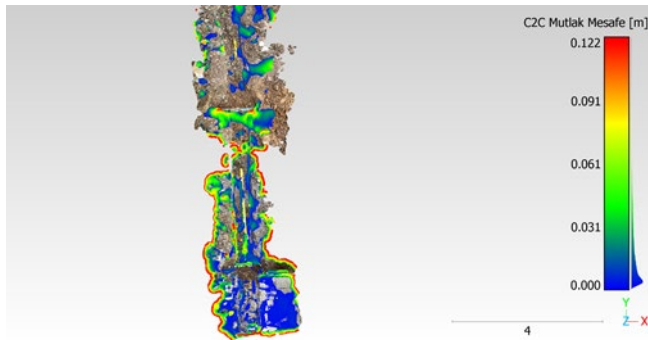
3. Bulgular

Selçuk Üniversitesi Güneysınır Meslek Yüksekokulu'nda doğalgaz bağlantı boru hattına yönelik yapılan çalışma ve uygulama (Şekil 2), alandan toplanan görsel verilerle desteklenmiştir ve dört ana aşamadan oluşan bir değerlendirme sürecini içermiştir. İlk aşamada, yaya olarak yapılan arazi ölçümlerinde herhangi bir kontrol noktası kullanılmamıştır. Daha sonra, iPhone 14 Pro'nun LiDAR sisteminden alınan nokta bulutu verileri ile analize başlanmış, bu verilere dayanarak borunun geometrisi belirlenmek için silindir uydurma teknikleri uygulanmıştır. Çalışmanın son aşamasında, elde edilen verilere dayalı olarak belirli sabit noktalar referans alınarak yatay ve düşey mesafe farkları hesaplanmıştır.



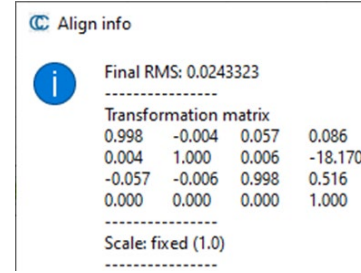
Şekil 2. Uygulama alanından bir görüntü.

Üç farklı tarama gerçekleştirilmiş ve bu taramalardan elde edilen veriler, en az üç noktadan toplanarak Iterative Closest Point (ICP) algoritması (Besl ve McKay 1992) kullanılarak CloudCompare yazılımı (CloudCompare 2023) ile entegre edilmiştir. Nokta bulutlarında toplam 4,444,787 nokta kaydedilmiştir. Elde edilen tarama sonuçlarındaki farklılıklar detaylı bir şekilde incelenmiş ve bulgular Şekil 3'te görselleştirilmiştir.



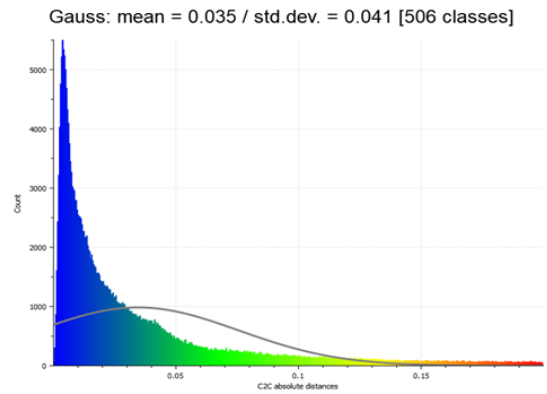
Şekil 3. Birinci ve ikinci tarama birleştirme sonrası en yakın nokta karşılaştırmasına göre farklar.

Şekil 3'teki verilere dayanarak dört noktada dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dönüklük parametreleri ile tüm noktalar belirlenen benzerlik dönüşümüne uygun şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen dönüklük matrisi ve karesel ortalama hata (RMSE) Şekil 4'te verilmiştir.

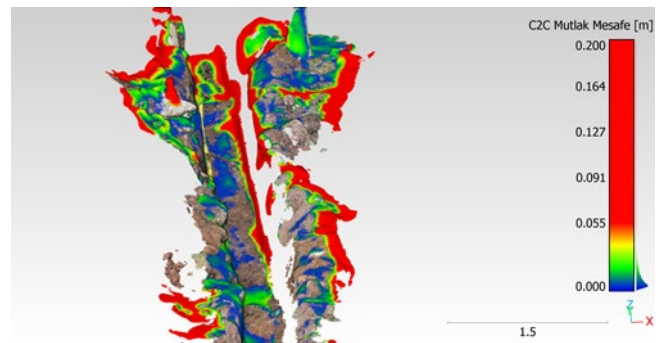


Şekil 4. Birinci ve ikinci tarama dönüklük hesabı.

Ardından, yüzey noktaları da dahil edilerek Iterative Closest Point (ICP) algoritması kullanılarak nihai dönüşüm tamamlanmıştır. Bu dönüşümle, referans ve model noktaları karşılaştırılarak aradaki farklar belirlenmiştir. Bu farklar, tarama açısının, objenin yüzeyinin ve dokusunun neden olduğu varyasyonları yansıtmaktadır ve mutlak sonuç doğrulukları hakkında bilgi vermektedir. Düz yüzeylerde elde edilen farklar 5 cm ve altında olup, bu iyi bir doğruluk düzeyini göstermektedir. Ancak, karmaşık yüzeylerde bu farklar 20 cm'ye kadar çıkabilmekte; bu önemli farklılıklar, ilk ve ikinci tarama işlemleri sırasında tarama açılarındaki boşluklar ve karmaşık yüzeylerden kaynaklanan hatalar nedeniyledir. Nokta bulutları arasındaki farkların dağılımı Gauss dağılımı ile analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 5'te görselleştirilmiştir.



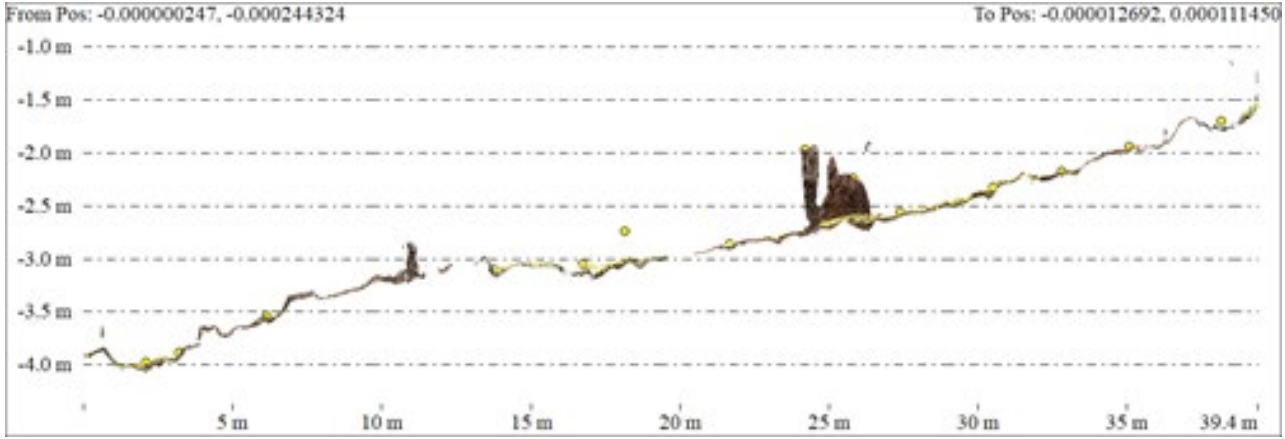
Şekil 5. Nokta bulutlarındaki (1-2. tarama ICP sonrası) farkların Gauss dağılımında gösterimi, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 3.5 cm ve 4.1 cm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. İkinci ve üçüncü tarama birleştirme sonrası en yakın nokta karşılaştırmasına göre farklar.

İkinci ve üçüncü tarama sonuçları, ilk tarama grupları arasındaki farklarla benzerlik göstermektedir. Ancak üçüncü taramada yan cephelerin daha az tarama altına alınması sonucunda, bazı farklar 20 cm'den fazla olarak görülse de, ortalama fark 3.0 cm ve

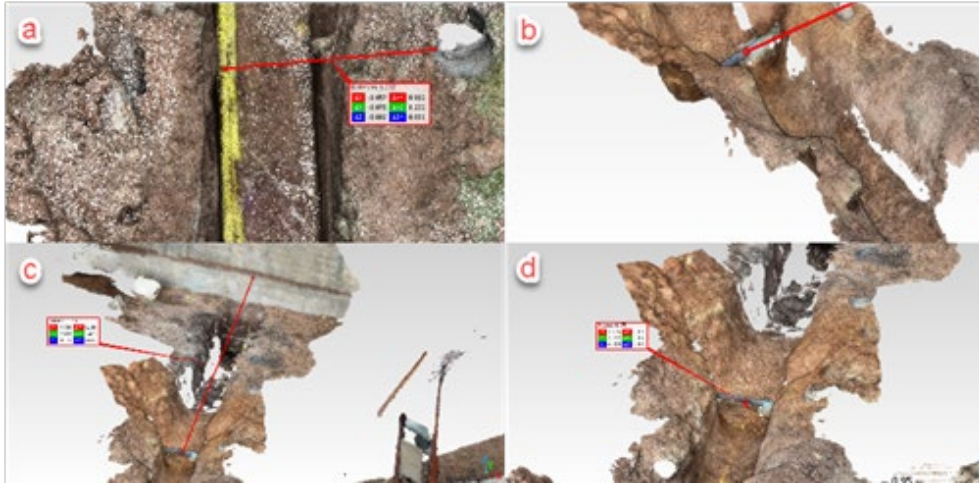
standart sapma 4.6 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Ana güzergâh hattı, lokal koordinat sistemi içerisinde 5 cm kalınlığında profiller alınarak diğer yapılar ve boy kesitleri ile birlikte değerlendirilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Ana doğrultu hat profili görselleştirilmesi.

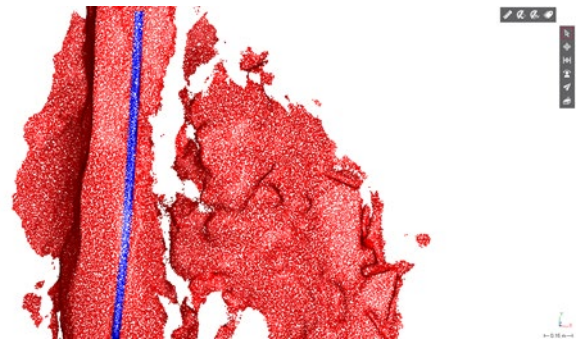
Elde edilen nokta bulutları üzerinden yapılan röperleme işlemi, uygulamada basit ancak etkili bir

yöntemdir (Şekil 8). Bu ölçümler, gelecekte yapılacak kazı işlemleri için kılavuzluk edecek niteliktedir.



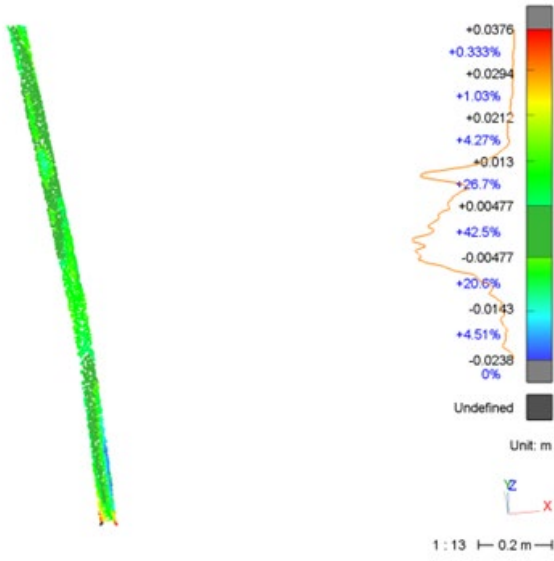
Şekil 8. Nokta bulutlarından röperleme işlemi, a) en yakın ağacın boru hattına olan geometrik farkları, b) hat üzerindeki diğer hatların yakın detaylarla ilişkisi, c) hattın diğer hatlarla olan durumunun duvardan olan mesafesi, d) hat üzerindeki diğer hatların detay ölçmeleri.

Sınıflandırma sürecinde, nokta bulutlarının renk (RGB) farklılıklarını kullanarak, 3DReshaper (3DReshaper, 2024) yazılımı ile manuel bir yöntem uygulanmıştır. Kısa bir hat üzerinde çalışıldığı için bu manuel yöntem hem etkili hem de yeterli olmuştur (Şekil 9). Ancak, daha uzun hatların sınıflandırılması gerektiğinde, işlemin hızlandırılması ve zamandan tasarruf sağlamak için yarı otomatik veya otomatik yöntemler tercih edilmelidir. Bu otomasyon yöntemleri, büyük veri miktarlarının işlenmesini kolaylaştırır ve sınıflandırma sürecinin genel verimliliğini artırabilir.



Şekil 9. Doğalgaz borusunu temsil eden noktaların sınıflandırılması (Mavi: boru hattı, Kırmızı: diğer detaylar).

Bu aşamadan sonra, 3DReshaper yazılımının “en iyi silindir uydurma” (Best fit cylinder) aracı kullanılarak silindir uygulama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Doğalgaz borusunu geometrik olarak tanımlanmasında silindir uydurma işlemi ve uydurmanın fark değerleri (Fark miktarları, En Yüksek: 3 cm, En Düşük: -2.3 cm).

Silindir uygulamalarında, gözle görülebilen yerlerde yüksek doğruluk elde edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 10). Ancak, doğalgaz hatlarına bağlı ve esnek yapıda olan bireysel gaz kontrol kutularına gelen borularda bu uygulamanın hatalara yol açtığı tespit edilmiştir. Esnek boru bölümlerinde kısa kesitler alınması, bu tür hataların önlenmesi için önemlidir. Alternatif olarak, esnek silindirik boru hatlarını daha doğru tanımlayabilmek için özel yöntemler veya yazılımların kullanılması gerekebilir. Silindir uygulaması sonuçlarına göre, hattın yarıçapı 2.5 cm ve standart sapması 0.8 cm hata ile hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, silindir uygulamasının belirli durumlar ve malzemeler için etkili olabileceğini gösterirken, esnek malzemelerle çalışılırken özen gösterilmesi gerektiğini de vurgular.

Çalışma alanındaki sulama ve içme su hatları, daha önceki konumları bilinmediği için, JCB operatörü tarafından kazı sırasında yanlışlıkla hasar görmüştür. Bu tür hatların doğru bir şekilde belirlenmesi ve kazı veya onarım aşamalarında yeniden tanımlanabilmesi, kazı ekiplerine büyük kolaylık sağlar. Ana hatla ilişkilendirilmiş bu hatların görselleştirilmesi, çalışma sahasındaki riskleri azaltarak operasyonel verimliliği ve güvenliği artıracaktır (Şekil 11).



Şekil 11. Doğalgaz boru hattının diğer altyapı elemanlarıyla birlikte ilişkilendirilmesi-Kesit alınması ve doğrultuların belirlenmesi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Apple iPhone 14 Pro'nun lazer tarama sensörü ve 3D Scanner App'in yoğun görüntü eşleştirme teknolojisi kullanılarak altyapı tesislerinin konumları hakkında 3B konumsal bilgilerin toplanmasının güvenilir, hızlı ve pratik bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Bulgular, iPhone 14 Pro ile 3D Scanner App kullanarak 5 metreye kadar mesafede veri toplanabileceğini; ancak 1-2 metre mesafede ve normal yürüme hızında daha yüksek doğrulukla veri

toplamanın daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Altyapı kanalı üzerindeki 3B nokta bulutlarının başarılı bir şekilde toplanması için karşılıklı yapılan taramaların, hat çıkarımı tahminlerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, esnek boru hatlarının geometrik tanımlanması için, 1 metre veya daha kısa kesitlerde yapılan tek seferlik silindir uygulamalarının daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Gelecek çalışmalar, altyapı kanal ve boru hatlarının konumlarını belirlemek amacıyla iPhone 14 Pro LiDAR tarayıcısıyla farklı tekniklerde ölçüm yapan

diğer cihazların kullanımını ve ölçüm kalitelerinin değerlendirilmesini içermelidir. Bu yaklaşım, çeşitli cihazların performanslarını karşılaştırmak ve en uygun yöntemleri belirlemek için temel oluşturacaktır. Ayrıca, farklı mobil uygulamaların kullanımının ve karşılaştırılmasının, elde edilen sonuçların kıyaslanmasına yardımcı olacağı ve en etkili yazılımların seçimi ve geliştirilmesine yönelik çalışmalara rehberlik edeceği öngörülmektedir. Uygulamalarda LAS, ASCII, PLY ve OBJ gibi yaygın dosya formatlarının desteklenmesi, verilerin post-process işlemleri için daha geniş seçenekler sunarak, veri işleme süreçlerinin esnekliğini artıracaktır.

Yazarların Katkısı

Tasarım, düzenleme ve tüm analizler yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar için herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- 3DReshaper (2024). "Leica Cyclone 3DR - All-in-One Deliverable Solution". Geliş tarihi 12 Mart 2024 (<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>).
- 3DScanner App. (2023). "3D Scanner App." Geliş tarihi 07 Aralık 2023 (<https://3dscannerapp.com/>).
- Akay, A. E., Oğuz, H., Karas, I. R., & Aruga, K. (2009). Using LiDAR technology in forestry activities. *Environmental monitoring and assessment*, 151, 117-125.
- Apple (2020). "iPhone 12 Pro - Teknik Özellikler (TR)". Geliş tarihi 06 Aralık 2023 (https://support.apple.com/kb/SP831?locale=tr_TR).
- Apple (2023). "iPhone 14 Pro - Teknik Özellikler (TR)". Geliş tarihi 07 Aralık 2023 (https://support.apple.com/kb/SP875?viewlocale=tr_TR&locale=tr_TR).
- Benvenuto, L., Cosso, T., & Delzanno, G. (2022). An adaptive algorithm for multipath mitigation in GNSS positioning with Android smartphones. *Sensors*, 22(15), 5790.
- Besl, P. J., & McKay, N. D. (1992, April). Method for registration of 3-D shapes. In *Sensor fusion IV: control paradigms and data structures*, 1611, 586-606.
- Bolles, R. C., & Fischler, M. A. (1981, August). A RANSAC-based approach to model fitting and its

application to finding cylinders in range data. In *IJCAI*, 1981, 637-643.

- CloudCompare (2023). "CloudCompare - Open Source project". Geliş tarihi 09 Aralık 2023 (<https://www.danielgm.net/cc/>).
- Díaz Vilariño, L., Tran, H., Frías Nores, E., Balado Frías, J., & Khoshelham, K. (2022). 3D mapping of indoor and outdoor environments using Apple smart devices. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B4-2022, 303-308.
- GIM, International (2022). "Using Lidar Software for Energy Infrastructure Mapping-Web of Science Core Collection". Geliş tarihi 06 Aralık 2023 (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000787750100012>).
- 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.
- Günen, M. A., Erkan, İ., Aliyazıcıoğlu, Ş., & Kumaş, C. (2023). Investigation of geometric object and indoor mapping capacity of Apple iPhone 12 Pro LiDAR. *Mersin Photogrammetry Journal*, 5(2), 82-89.
- Huang, X., Gong, J., Chen, P., Tian, Y., & Hu, X. (2021). Towards the adaptability of coastal resilience: Vulnerability analysis of underground gas pipeline system after hurricanes using LiDAR data. *Ocean & Coastal Management*, 209, 105694.
- Kaartinen, E., Dunphy, K., & Sadhu, A. (2022). LiDAR-based structural health monitoring: Applications in civil infrastructure systems. *Sensors*, 22(12), 4610.
- Killinger, D. K. (2014). Lidar (light detection and ranging). In *Laser spectroscopy for sensing*, 2014, 292-312. Woodhead Publishing.
- Kottner, S., Thali, M. J., & Gascho, D. (2023). Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. *Forensic Imaging*, 32, 200535.
- 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.
- 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), 1-9.
- Lukács, G., Marshall, A. D., & Martin, R. R. (1997). Geometric least-squares fitting of spheres, cylinders, cones and tori. *RECCAD, Deliverable document*, 1197, 2.
- Monsalve, A., Yager, E. M., & Tonina, D. (2023). Evaluating Apple iPhone LiDAR measurements of topography and roughness elements in coarse bedded streams. *Journal of Ecohydraulics*, 8(1) 1-11.

- Rabbani, T., & Van Den Heuvel, F. (2005). Efficient hough transform for automatic detection of cylinders in point clouds. *Isprs Wg Iii/3, Iii/4, 3*, 60-65.
- Sevgen, S. C. (2019). Airborne lidar data classification in complex urban area using random forest: a case study of Bergama, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), 45-51.
- Sevgen, S. C., & Karsli, F. (2020). Automatic ground extraction for urban areas from airborne lidar data. *Turkish Journal of Engineering*, 4(3), 113-122.
- Seyfeli, S., & Ok, A. O. (2021, November). Classification of Mobile Laser Scanning Point Cloud in an Urban Environment Using kNN and Random Forest. In *The Proceedings of the International Conference on Smart City Applications 5*, 963-973.
- Sharifisoraki, Z., Dey, A., Selzler, R., Amini, M., Green, J. R., Rajan, S., & Kwamena, F. A. (2022). Monitoring critical infrastructure using 3d lidar point clouds. *IEEE Access*, 11, 314-336.
- Shen, Z., Wang, J., Pang, C., Lan, Z., & Fang, Z. (2024). A LiDAR-IMU-GNSS fused mapping method for large-scale and high-speed scenarios. *Measurement*, 225, 113961.
- Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., del Río-Barral, P., Perez-Collazo, C., Arias, P., & Riveiro, B. (2019). Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring. *Infrastructures*, 4(4), 58.
- Suleymanoglu, B., Gurturk, M., Yilmaz, Y., Soycan, A., & Soycan, M. (2023). Comparison of unmanned aerial vehicle-LiDAR and image-based mobile mapping system for assessing road geometry parameters via digital terrain models. *Transportation Research Record*, 2677(8), 617-632.
- Suleymanoglu, B., Soycan, M., & Toth, C. (2024). 3D Road Boundary Extraction Based on Machine Learning Strategy Using LiDAR and Image-Derived MMS Point Clouds. *Sensors*, 24(2), 503.
- Teo, T. A., & Yang, C. C. (2023). Evaluating the accuracy and quality of an iPad Pro's built-in lidar for 3D indoor mapping. *Developments in the Built Environment*, 14, 100169.
- Vacca, G. (2023). 3D Survey with Apple LiDAR Sensor—test and assessment for architectural and cultural heritage. *Heritage*, 6(2), 1476-1501.
- Yiğit, A. Y., Gamze Hamal, S. N., Ulvi, A., & Yakar, M. (2023). Comparative analysis of mobile laser scanning and terrestrial laser scanning for the indoor mapping. *Building Research & Information*, 52(4), 1-16.
- Zeybek, M. (2021). Extraction of road lane markings from mobile LiDAR data. *Transportation research record*, 2675(5), 30-47.
- Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ., & Genç, A. (2015). Yüksek çözünürlüklü yersel lazer tarama verilerinin filtrelenmesi ve filtrelemelerin heyelan izlemeye etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 11-20.



© Author(s) 2024.

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