

Nokta Bulutu Verisinden Bina Cephelerine Ait Düzlemlerin RANSAC ile Segmentasyonu

Yunus Kaya^{1*}, Nizar Polat²

^{1*} Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63290, Şanlıurfa, Türkiye; (yunuskaya@harran.edu.tr; nizarpolat@harran.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
yunuskaya@harran.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kaya, Y., & Polat, N. (2023). Nokta Bulutu Verisinden Bina Cephelerine Ait Düzlemlerin RANSAC ile Segmentasyonu. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 5(1), 38-44.

Geliş : 06.06.2023
Revize : 19.06.2023
Kabul : 21.06.2023
Yayınlama : 30.06.2023

Özet

Bu çalışma, yersel lazer tarama yoluyla elde edilen nokta bulutu verilerinden düzlem parçaları doğru bir şekilde elde etmek için izlenen bir iş akışını sunmaktadır. Bu iş akışı, veri toplama, ön işleme, RANSAC tabanlı segmentasyon, parametre ayarı ve sonuçların analizi gibi hususları içerir. Önerilen yaklaşım, mimari modelleme, şehir planlaması ve mirasın korunması için değerli bilgiler sağlayan, bina cephelerine karşılık gelen düzlemsel bölgeleri başarılı bir şekilde algılar ve çıkarır. Bu kapsamda yersel lazer tarayıcı kullanılarak Kocaeli’nde yapılan bir çalışmadan elde edilen veriler kullanılmıştır. İki farklı binaya ait cephelerde düzlemlerin tespiti çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna göre birinci cephede 21 ikinci cephede 14 düzlem tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, farklı nokta sayısı ve doğrultuya sahip düzlemlerin tespit edilebilmesi, uygulanan metodolojinin geliştirilebilir olmasına rağmen etkili ve başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: RANSAC, nokta bulutu, segmentasyon, yersel lazer tarama.

Segmentation of Building Facade Planes from Point Cloud Data with RANSAC

*Corresponding Author:
yunuskaya@harran.edu.tr

Research Article

Citation: Kaya, Y., & Polat, N. (2023). Segmentation of Building Facade Planes from Point Cloud Data with RANSAC. *Turkish Journal of LiDAR*, 5(1), 38-44 (in Turkish).

Received : 06.06.2023
Revised : 19.06.2023
Accepted : 21.06.2023
Published : 30.06.2023

Abstract

This study presents a workflow for accurately obtaining plane segments from point cloud data obtained through terrestrial laser scanning. The workflow encompasses data acquisition, preprocessing, RANSAC-based segmentation, parameter tuning, and result analysis. The proposed approach successfully detects and extracts planar regions corresponding to building facades, providing valuable information for architectural modeling, urban planning, and heritage preservation. The study utilizes data collected through terrestrial laser scanning in Kocaeli, capturing the facades of two different buildings. A total of 21 planes were identified in the first facade and 14 planes in the second facade. The results demonstrate the effectiveness and success of the applied methodology in detecting planes with varying point densities and orientations. Although the methodology has potential for further improvement, it proves to be effective and successful in plane detection.

Keywords: RANSAC, point cloud, segmentation, terrestrial laser scanning.

1. Giriş

LiDAR (Light Detection and Ranging-Işıklı Algılama ve Uzaklık Ölçme), çevredeki nesnelere olan uzaklığı ölçmek için ışığı kullanan uzaktan algılama teknolojisidir. Fotogrametri yöntemlerine ek olarak kullanılan (Kabadayı & Uysal, 2019; Kabadayı & Uysal, 2020; Erdoğan vd., 2022) ve hassasiyeti artıran bu veri, nesne veya sahnenin yüzeyini temsil eden uzaydaki noktaların bir koleksiyonu olan üç boyutlu (3D) nokta bulutları oluşturmak için kullanılabilir. Son yıllarda, LiDAR teknolojisi çevrenin yüksek çözünürlüklü 3D verilerini yakalamak için değerli bir araç olarak ön plana çıkmıştır (Avdan vd., 2013; Yiğit vd., 2023; Nazari vd., 2023; Yakar vd., 2015; Ulvi vd., 2014; Yakar vd., 2016). LiDAR sistemleri, lazer ışınlarını kullanarak nesnelere olan uzaklığı ölçer ve gözlenen sahnenin mekansal dağılımını temsil eden nokta bulutları oluşturur (Uzar vd., 2019; Alptekin & Yakar, 2021; Kanun vd., 2021; Karataş vd., 2022a; Karabacak & Yakar, 2023). Bu nokta bulutları, otonom sürüş, robotik, kentsel planlama ve çevre izleme gibi çeşitli uygulamalar için temel bir veri kaynağı olarak hizmet eder (Cetin & Yastikli, 2023; Adjiski vd., 2023; Sanchez-Diaz vd., 2022; Ozdemir vd., 2021).

Bölütme, LiDAR nokta bulutlarının analizinde kritik bir adım olup nokta bulutunu tutarlı ve anlamlı bölgelere ayırmayı içerir. Nokta bulutu bölütmesi, ham LiDAR verisinden anlamsal olarak önemli bilgileri çıkarmada hayati bir rol oynar ve ardışık işleme ve yorumlama imkanı sağlar. Geometrik, mekansal veya semantik özelliklere dayanarak nokta bulutunu belirli segmentlere bölen bölütme algoritmaları, nesne tanıma, sahne anlayışı ve ardışık karar verme süreçlerini kolaylaştırır.

LiDAR nokta bulutu bölütmesinde öne çıkan özel bir yaklaşım, Random Sample Consensus (RANSAC) algoritmasıdır. RANSAC, bir alt küme olan içerik kümesine en iyi uyan matematiksel bir modelin parametrelerini tanımlamayı amaçlayan tekrarlayan bir algoritmadır (Carrilho ve Galo, 2018). Bu algoritma, çevrede yaygın olarak bulunan düzlem, çizgi veya silindir gibi geometrik temel öğelerin parametrelerini verimli ve güvenilir bir şekilde tahmin ederek nokta bulutlarını bölütme konusunda büyük potansiyele sahiptir (Canaz Sevgen & Karsli, 2020).

RANSAC tabanlı yöntemler kullanarak LiDAR nokta bulutu bölütmesi yapmak, edinilen verinin özellikleri nedeniyle çeşitli önemli zorluklar ortaya çıkarır. Öncelikle, nokta bulutları genellikle büyük bir nokta sayısına sahiptir, bu da hesaplama karmaşıklığı ve bellek kısıtlamalarına yol açar. Büyük veri hacmini işlemek ve makul sürelerde işlem yapabilmek için etkili algoritmalara ihtiyaç vardır. İkinci olarak, nokta bulutları genellikle sensör ölçüm hataları, kapanmalar

veya aykırı değerler gibi çeşitli tipte gürültüler içerir, bu da bölütlenme sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, gürültülü ve mükemmel olmayan verilerle başa çıkabilen sağlam bölütme algoritmaları önemlidir.

Ayrıca, LiDAR nokta bulutları, farklı nesne tipleri, çevresel yapılar ve arka plan gürültüsünü içeren karmaşık ve çeşitli sahneleri yakalar. Bölütme algoritmaları, nesne şekilleri, boyutları ve yoğunluklarındaki değişiklikleri ve komşu noktalar arasındaki mekansal ilişkileri dikkate almalıdır (Çömert vd., 2023). Ayrıca, bölütme süreci, kentsel ortamlar, doğal peyzajlar veya kapalı mekanlar gibi farklı uygulama alanlarına uyarlanabilir olmalıdır, çünkü bu alanların bölütme için kriterleri önemli ölçüde farklılık gösterebilir (Hammoudi vd., 2009). Son yıllarda, bu zorlukları ele almak için çeşitli RANSAC tabanlı bölütme teknikleri önerilmiştir. Bu yöntemler, Multi-Model RANSAC, Progressive RANSAC veya Randomized RANSAC gibi orijinal RANSAC algoritmasının çeşitli varyasyonlarını ve iyileştirmelerini kapsar. Her bir varyant, bölütme sürecinin sağlamlığını, verimliliğini veya doğruluğunu artırmayı hedefler. Ayrıca, RANSAC ile makine öğrenimi veya derin öğrenme tekniklerini entegre etmek, bölütme performansını iyileştirmede umut verici sonuçlar göstermiştir. Bu makalenin amacı, RANSAC tabanlı LiDAR nokta bulutu bölütme tekniklerindeki durumu ve gelişmeleri genel bir bakış sunmaktır. Çeşitli RANSAC varyantlarını ve uygulamalarını keşfedecek ve değerlendirilip, güçlü yönlerini, zayıflıklarını ve performans özelliklerini vurgulanmıştır. Mevcut metodolojilerin ve uygulanabilirliklerinin anlaşılmasıyla, araştırmacılar ve uygulamacılar, özellikle RANSAC tabanlı yaklaşımları göz önünde bulundurarak, spesifik ihtiyaçları için bir bölütme algoritması seçerken bilinçli kararlar verebilirler. RANSAC tabanlı LiDAR nokta bulutu bölütme alanındaki gelişmeler, 3D nokta bulutu verilerinin doğru ve etkili analizine dayanan sistemlerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca nesne tanıma, sahne anlayışı ve karar verme yeteneklerini geliştirmesi beklenmektedir.

2. Veri ve Yöntem

Bu bölüm, yersel lazer tarama yoluyla elde edilen bina cephelerinin nokta bulutu verilerinden düzlem segmentlerini bölmek için kullanılan metodolojiyi açıklamaktadır. Veri ve yöntem bölümü, çalışma alanı, veri toplama, ön işleme, segmentasyon stratejisi, parametre ayarı, segmentasyon süreci ve doğrulama gibi süreçleri kapsar.

2.1. Çalışma Alanı

Çalışmada Kocaeli ili Dilovası ilçesinde bulunan bir sokakta yapılan bir projede elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışma alanı haritası Şekil 1’de verilmiştir.

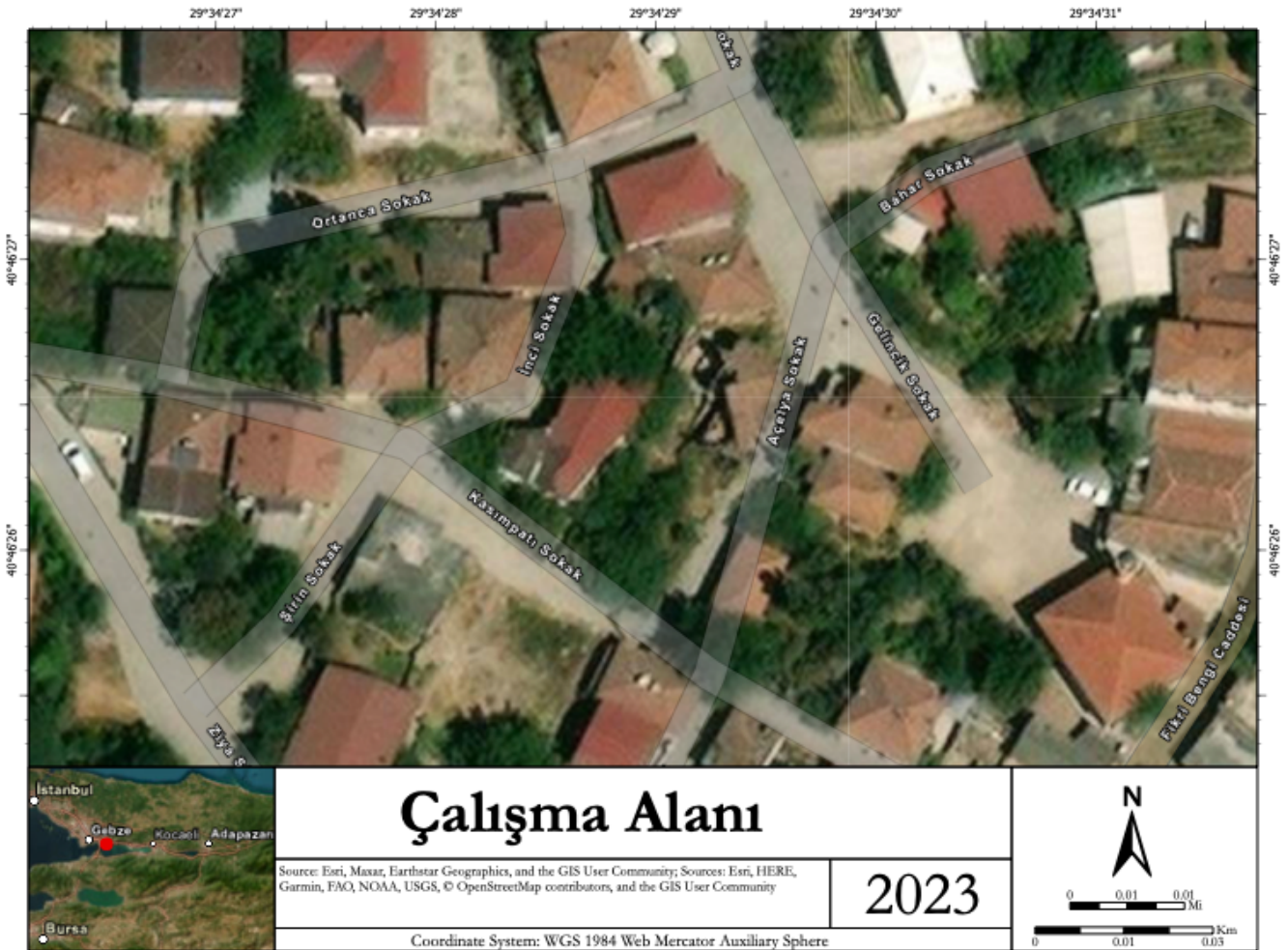
2.2. Veri Toplama

Bina cephelerinin nokta bulutu verisinin elde edilmesi, yersel lazer tarama kullanılarak gerçekleştirildi. Bu uzaktan algılama tekniği, çevre

ortamındaki nesnelere olan mesafeyi ölçmek için lazer ışınlarından yararlanarak detaylı 3B nokta bulutlarının oluşturulmasını sağlar (Alptekin & Yakar, 2020; Karataş vd., 2022b). Lazer tarayıcı, hedef binanın etrafında birden fazla gözlem noktasına yerleştirilerek kapsamlı bir cephe bilgisi yakalamak için kullanıldı. Tarama süreci, doğru geometrik verilerin elde edilmesini sağlamak için yüksek hassasiyet ve çözünürlükte gerçekleştirildi. Çalışmada kullanılan lazer tarayıcıya ait teknik bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. LiDAR FARO FocusS S350 teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Ölçme menzili	İç veya dış mekanda 0,6-350 m
Ölçme hızı	Maksimum 976.000 nokta/saniye
Ölçme doğruluğu (10-25 m ölçümde)	±2 mm
Yerel doğruluk	±5 mm
Görüş alanı (dikey/yatay)	300° / 360°
Renk birimi çözünürlüğü	Maksimum 70 megapiksel
Lazer sınıfı	1.sınıf
Işın sapması	0.19 mrad (0,011°) (1/e, yarım açı)



Şekil 1. Çalışma alanı.

2.3. Önışleme

Segmentasyon aşamasından önce, ham nokta bulutu verisinin analiz için hazırlanması amacıyla bir dizi önışleme adımı uygulandı. Veri kümesinden gürültü, aykırı değerler ve ilgili olmayan noktaların temizlenmesi için temizleme ve filtreleme işlemleri gerçekleştirildi.

2.4. Segmentasyon Stratejisi

Düzlem segmentasyonu için temel yöntem olarak Random Sample Consensus (RANSAC) algoritması seçildi. RANSAC, bir matematiksel modelin parametrelerini en iyi şekilde uyacak şekilde bir inlier (uygun) veri noktaları alt kümesini belirlemeyi hedefleyen bir iteratif algoritmadır (Polat & Uysal, 2020). Bu çalışmada, RANSAC, bina cephesine karşılık gelen nokta bulutu içindeki düzlem bölgelerini tespit etmek için kullanıldı.

2.5. Parametre Ayarları

Bu çalışmada RANSAC algoritması için özelleştirilmiş birkaç parametre tanımlanmıştır. Bu parametreler, segmentasyon sonuçlarının performansını ve doğruluğunu etkileyen önemli rol oynamaktadır. İnlier eşik değeri, bir noktanın düzleme olan maksimum kabul edilebilir uzaklığını belirlemektedir. Maksimum iterasyon sayısı, RANSAC döngüsünün sonlandırılma kriterini kontrol etmektedir. Minimum nokta sayısı ise bir düzlem segmenti oluşturmak için gereken en az nokta sayısını belirlemektedir. Bu parametreler, deneyler ve ayarlama süreci ile dikkatlice seçilmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler:

- İnlier Eşik Değeri:** İçerideki eşik değeri, bir nokta ile uydurulan düzlem arasındaki maksimum kabul edilebilir mesafeyi belirler. Bu eşik değeri içindeki noktalar düzlemin bir parçası olarak kabul edilirken, eşik değerinin ötesinde kalan noktalar aykırı olarak sınıflandırılır. İçerideki eşik değeri, nokta bulutu verisinin özellikleri ve segmentasyon doğruluğu hedefi göz önünde bulundurularak dikkatlice seçilmiştir.
- Maksimum İterasyon Sayısı:** Maksimum iterasyon sayısı, RANSAC döngüsünün sonlandırma kriterini kontrol eder. Algoritma, nokta örneklerini iteratif olarak örnekler ve bu örnekler üzerinde düzlemler uygunlar. İterasyon sayısı, hesaplama verimliliği ile en iyi düzlem uydurmasını bulma olasılığı arasındaki dengeyi etkiler. Maksimum iterasyon sayısı, nokta bulutu verisinin karmaşıklığı ve kullanılabilir hesaplama kaynaklarına bağlı olarak belirlenmiştir.

- Minimum Nokta Sayısı:** Dikkate alınan başka bir parametre, bir düzlem segmenti oluşturmak için gereken minimum nokta sayısıdır. Bu parametre, yalnızca yeterli sayıda noktaya sahip düzlem segmentlerinin geçerli olarak kabul edilmesini sağlar. Veri içindeki gürültü veya aykırı değerler nedeniyle ortaya çıkabilecek küçük, anlamsız düzlem segmentlerini elemeye yardımcı olur.

RANSAC düzlem tespiti için parametre ayarları, nokta bulutu verisinin özel karakteristiklerine ve çalışmanın segmentasyon gereksinimlerine bağlı olarak değişebilir.

2.6. Segmentasyon Süreci

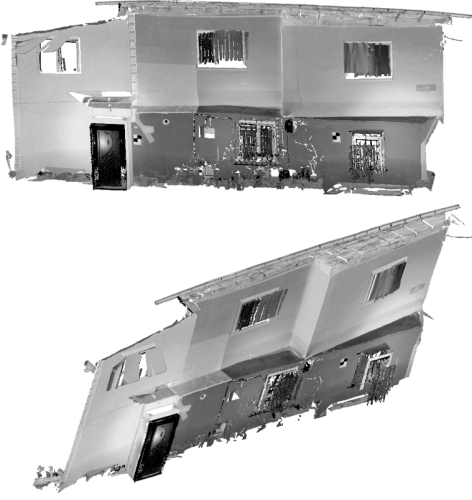
Segmentasyon süreci, önışlenmiş nokta bulutu verisine RANSAC algoritmasının uygulanmasını içermektedir. Algoritma, rastgele nokta alt kümesi seçer ve seçilen noktalara düzlemler uygunlar. Ardından, tüm noktalar ile uygunlanan düzlemler arasındaki mesafeler hesaplanır ve belirtilen inlier eşik değerine göre noktalar inlier (uygun) veya outlier (aykırı) olarak sınıflandırılır. Süreç, yeterli kalitede bir düzlem segmenti elde edilene kadar veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar tekrarlanır. Belirlenen düzlem segmentleri sonraki analiz ve görselleştirme için saklanır.

2.7. Doğrulama

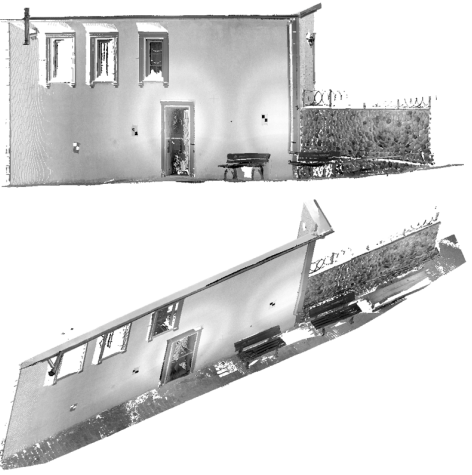
Düzlem segmentasyonu sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için bir doğrulama prosedürü uygulanmıştır. Manuel olarak işaretlenmiş düzlem segmentleri veya bilinen düzlem yapılarına sahip referans veri setleri gibi gerçek veriler karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru gibi nicel ölçütler, segmentasyon algoritmasının performansını değerlendirmek için hesaplanmıştır. Ayrıca, görsel incelemeler ve nitel değerlendirmeler, tespit edilen düzlem segmentlerinin görsel bütünlüğünü ve doğruluğunu doğrulamak için yapılmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında iki farklı yapı üzerinde uygulanan metodoloji ile bu yapılar ait düzlem noktaları elde edilmiştir. Verilerin hazırlanmasında ilk olarak baca, zemin ağaç ve enerji nakil hattı gibi doğrudan bina cephesinden olmayan objelere ait noktalar manuel olarak temizlenmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen cephelerin karşıdan ve açılı görünümünde yatay ve düşey düzlemler açıkça görülmektedir.

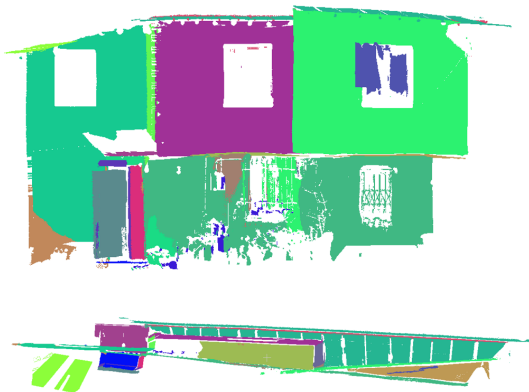


Şekil 2. Cephe 1 temizlenmiş verinin karşıdan ve açılı görünümü.



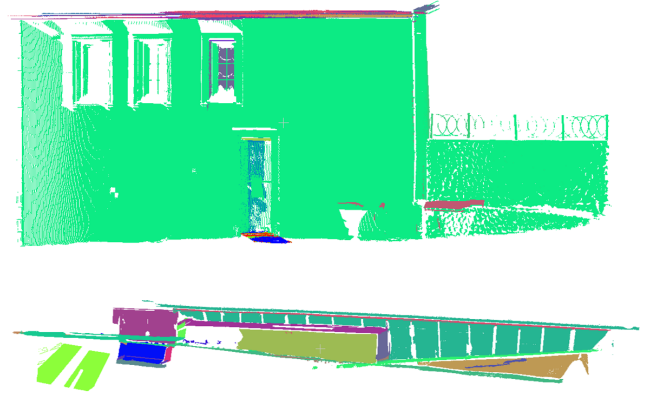
Şekil 3. Cephe 2 temizlenmiş verinin karşıdan ve açılı görünümü.

Temizlenen cepheler ayrı ayrı RANSAC ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda RANSAC parametre bağımlı bir yaklaşım olduğu için her cephede farklı parametreler kullanılmıştır. Parametreler denenerek en uygun olanlar seçilmeye çalışılmıştır. Bu noktada minimum düzlem alanı ve metre kareye düşen nokta sayısı dikkate alınmıştır. Birinci cephenin sonuçları karşıdan ve düşeyden görseller ile şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ransac sonucu elde edilen Cephe 1 e ait düzlem sonuçları.

Cephe 1 için kullanılan parametreler ise Minimum nokta sayısı 5000, düzleme yakınlık 1 cm ve en yüksek düzlem açısı 55 derece olarak belirlenmiştir. İterasyon için sınır konmamıştır. Böylece veri setindeki tüm noktaların düzleme girip girmediği denenmiştir. Birinci cephede olduğu gibi ikinci cephede de parametreler denenerek en uygunu seçilmeye çalışıldı. Minimum nokta sayısı 3000, düzleme yakınlık 1 cm ve en yüksek düzlem açısı 55 derece olarak belirlendi. İkinci cephenin sonuçları Şekil 5 te verilmiştir.



Şekil 5. Ransac sonucu elde edilen Cephe 2 e ait düzlem sonuçları.

Elde edilen sonuçlar görsel olarak incelendiğinde düzlemlerin büyük oranda elde edildiği görülmektedir. Karar verilen parametrelere bağlı olarak veri setleri düzlemlere ayrılmıştır. Bu noktada veride düzlem oluşturabilecek kümeleneceklerin büyüklüğü ve oluşabilecek düzlemin oluşturduğu açı doğru düzlemlerin oluşturulmasında önemli bir faktördür. Elde edilen sonuçların görsel analizi dışında sayısal analizi de yapılmıştır. Nokta sayısı ve düzlem sayısını içeren bu analizin sonuçları tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Cephelere ait düzlem ve nokta verileri.

	Düzlem sayısı	Nokta sayısı	Referans Düzlem	Referans Nokta
1. Cephe	21	11385645	13	15640886
2. Cephe	14	10389356	6	13954183

Çalışma kapsamında nokta sayısındaki farklılık beklenen bir durumdu. Çünkü RANSAC parametreye bağlı bir yaklaşım ve tüm veri setinin bu parametreye uyması mümkün bir durum değildir. Belirlenen parametrelere uymayan noktalar aykırı değer olarak kabul edilip RANSAC sonucuna dahil edilmez. Doğal olarak RANSAC sonucunda elde edilen nokta sayısı her iki, cephenin referans nokta sayısından beklendiği gibi daha azdır.

RANSAC sonucuna elde edilen düzlem sayısı her iki cephede de referans düzlem sayısından daha fazladır. Bu durum beklenen bir sonuç olmakla beraber manuel olarak düzenlenmesi mümkündür. Bu sonucun ortaya çıkmasında iki temel etken vardır. İlk olarak bir düzlem ağaç vb. bir obje ile ayrılmışsa ve bu obje RANSAC uygulamadan temizlenmişse o düzlem birden fazla parça olarak algılanabilmektedir. Benzer şekilde tek bir objenin birden fazla açıya sahip düzlemi varsa o obje de birden fazla düzlem olarak RANSAC tarafından tespit edilebilir. Her iki durum da manuel tanımla yapılarak düzlemlerin birleştirilmesi ile çözüme kavuşturulabilir.

4. Sonuçlar

Sunulan çalışma, RANSAC algoritması kullanılarak yersel lazer tarama yoluyla elde edilen nokta bulutu verilerinden düzlem yapılarını segmentlere ayırmayı amaçladı. Metodoloji, veri toplama, ön işleme, segmentasyon stratejisi, parametre ayarı, segmentasyon süreci, doğrulama, yazılım uygulaması ve etik hususları kapsayan bir iş akışıyla çalışma tamamlandı. Uygulanan bu iş akışıyla, bina cephelerinin nokta bulutu verilerinden düzlem oluşturan kısımları başarıyla tespit edildi. Unutulmamalıdır ki elde edilen sonuçlar, parametreye bağlı olduğu için nokta sayısı eşik değer düzlem açısı gibi parametreler değiştikçe değişebilir. Ayrıca temizleme ve filtreleme gibi ön işleme adımlarının uygulanıp uygulanmaması da girdi verisini değiştirdiği için sonuçları etkiler. Çalışmada kullanılan parametreler iteratif olarak denemeyele belirlenmiştir. Her deneme sonucu segmentasyon sonuçları doğruluk, bütünlük ve görsel uyum gibi ölçütlere dayanarak değerlendirilmiştir. En iyi segmentasyon performansını sağlayan parametre değerleri, sonuçların nihai analiz ve sunumu için seçilmiştir. Buna göre birinci cephede 21 ikinci cephede 14 düzlem elde edildi.

Sonuç olarak çalışma, RANSAC algoritmasını kullanarak düzlem bölütleme için kapsamlı bir metodoloji sağlayarak nokta bulutu analizi alanına katkıda bulunmuştur. Bulgular, seçilen metodolojinin, bina cephelerinin nokta bulutu verilerinden farklı açı ve nokta sayısına sahip düzlem segmentlerini doğru bir şekilde tespit etmedeki etkinliğini vurgulamaktadır. İzlenen metodoloji veri seti, hız ve düzlem belirleme ihtiyacı hususlarına bağlı olarak mimarlık, şehir planlama, kültürel mirasın korunması, sayısal belgeleme ve üç boyutlu modelleme gibi alanlarda uygulanabilir bir yaklaşımdır. Gelecekteki araştırmalarda, nokta bulutu verisinin ve verideki yoğunluğun artması beklentisi dikkate alındığında, makine öğrenimi veya derin öğrenme tekniklerinin

RANSAC ile kullanım potansiyelinin üzerinde durulması gerektiğini belirtmekte yarar vardır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adjiski V., Kaplan., G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 2(1), 1-4.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Lazer Tarayıcının Jeolojik Olayların Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 3(2), 71-75.
- Avdan, U., Pekkan, E., & Çömert, R. (2013). Mağara Ölçümlerinde Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanılması (Tozman Mağarası Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2) 16-28.
- Canaz Sevgen, S., & Karsli, F. (2020). An improved RANSAC algorithm for extracting roof planes from airborne lidar data. *The Photogrammetric Record*, 35(169), 40-57.
- Carrilho, A. C., & Galo, M. (2018). Extraction of building roof planes with stratified random sample consensus. *The Photogrammetric Record*, 33(163), 363-380.
- Çetin, Z., & Yastıklı, N. (2023). Automatic detection of single street trees from airborne LiDAR data based on point segmentation methods. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 129-137.
- Çömert, R., Özdemir, S., Bilgilioglu, B. B., Alemdag, S., & Zeybek, H. I., (2023). 3D data integration for geo-located cave mapping based on unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanner data. *BALTICA*, 36(1), 37-50.
- Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022). 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.
- Hammoudi, K., Dornaika, F., & Paparoditis, N. (2009). Extracting building footprints from 3D point clouds using terrestrial laser scanning at street level. *ISPRS/CMRT09*, 38, 65-70.

- Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 8-14.
- Kabadayı, A., & Uysal, M. (2020). Çok yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 43-48.
- 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. (2023). 3D Modeling of Mufti Abdullah Sıddık Mosque using Wearable Mobile LiDAR. *Advanced LiDAR*, 3(1), 01-09.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022a). 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. (2022b). Determination of Stone Material Deteriorations on the Facades with the Combination of Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Historical Burdur Station Premises. *Advanced Geomatics*, 2(2), 65-72.
- Nazari, S. W., Akarsu, V., & Yakar, M. (2023). Analysis of 3D Laser Scanning Data of Farabi Mosque Using Various Softwares. *Advanced LiDAR*, 3(1), 22-34.
- Ozdemir, S., Akbulut, Z., Karsli, 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.
- Polat, N., & Uysal, M. (2020). An investigation of tree extraction from UAV-based photogrammetric dense point cloud. *Arabian journal of geosciences*, 13(17), 846.
- 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.
- 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.
- Uzar, M., Tunalioglu, N., Arican, D., & Arda, T. (2019). Investigation of the filtering methods on 3D models using terrestrial laser scanning data. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (4), 1765-1775.
- Yakar, M., Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2015). The Problems and Solution Offers, Faced During The 3d Modeling Process Of Sekiliyurt Underground Shelters With Terrestrial Laser Scanning Method. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 2(2), 39-45.
- 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.
- Yiğit, A. Y., Hamal, S. N. G., Yakar, M., & Ulvi, A. (2023). Investigation and Implementation of New Technology Wearable Mobile Laser Scanning (WMLS) in Transition to an Intelligent Geospatial Cadastral Information System. *Sustainability*, 15(9), 7159.



© Author(s) 2023.

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