



Mobil LiDAR Nokta Bulutu Verilerinden Asfalt Yol Yüzeyinin Otomatik Çıkarımı

Mustafa Zeybek^{1,*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin.

Özet

Mobil LiDAR sistemleri, 1960'lı yıllardan bu yana kullanılan lazer sistemlerinin 2000'li yılların başında hareketli platformlara entegre edilmesiyle, haritalama ve izleme gibi farklı amaçlar için, etkili, yüksek doğruluklu sonuçlar veren ekonomik bütünlük sistemlerdir. GNSS, lazer algılama sensörleri ve odometreler hareketli platformlara entegre edilerek en yeni teknolojik sistemler olmuştur. Koridor haritalama, detay çıkarımı vb. gibi bilgi çıkarımı gerektiren farklı disiplinlerce kullanılmaktadır. Asfalt yol yüzeyi detayı, Mobil LiDAR verilerinden çıkarılan ve farklı uygulamalarda gereksinim duyulan bir bilgidir. Özellikle trafik güvenliği bakımında yol çizgi ve işaretlerinin tespit edilmesinde, yol geometrisinin analizinde, yol üzerindeki çukurların belirlenmesinde, tekerlek izlerinin analizi edilmesinde yol yüzeyi bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle bu çalışmanın temel odak noktası, yol yüzeyinin Mobil LiDAR verilerinden çıkarımı olmuştur. Ülkemizde LiDAR teknolojisine sahip kurum ve kuruluş sayısı yaygın olmamasına rağmen uluslararası proje ve çalışmalarda Mobil LiDAR teknolojileri yoğun olarak kullanılmaktadır. Yoğun verilerin kullanılması, proje maliyetlerinin düşürülmesi, hâlihazırda bulunan verilerin etkin biçimde kullanılması ve farklı projelere altlık oluşturması için büyük kazanımlar sağlamaktadır. Verilerin efektif kullanılması ve bilgi yönetiminin kolaylaştırılması, tekrarlı arazi ölçmelerinden kaçınılması ve kısa süreler içinde milyonlarca veri elde edilmesi avantaj sağlamasının yanı sıra bu verilerden istenilen bilgiye doğrudan erişimde yaşanan problemlerin çözümü için özellik çıkarımı günümüzde en çok ilgi çeken veri analizi konularından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, Riegl VMX-450 Marka ve model Mobil LiDAR cihazıyla hâlihazır amaçlı toplanan veriler Bölge Büyüme Segmentasyon (Region Growing Segmentation) algoritması yardımıyla yol yüzeyinin çıkarımında kullanılmıştır. Ham GNSS ve lazer ölçmeleri Applanix Pospac MMS yazılımında işlenmiştir. Bu veriler ile yol güzergâhı ve nokta bulutları çıkarılmıştır. Daha sonra, ön filtreleme ve gürültü giderme işlemleri uygulanmıştır. Üçüncü adımda da yer ve yer üzeri noktalar filtrelenerek yer noktaları PCD dosya formatında kaydedilmiştir. Son adım ise PCL C++ kütüphanesi yardımıyla Bölge Büyüme algoritmasının uygulanmasıyla yol yüzeyi çıkarımı tamamlanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Mobil LiDAR, Nokta Bulutları, PCL, Bölge Büyüme, Yol Çıkarımı

Abstract

The mobile LiDAR systems are integrated into the mobile platforms that have been used since the 1960s and are integrated into the mobile platforms, providing efficient, highly accurate results for different purposes such as mapping and monitoring. GNSS, laser detection sensors and odometers have been integrated into the mobile platforms and have become the newest technological systems. Corridor mapping, detail extraction etc. It is used by different disciplines that require information extraction. Asphalt road surface detail is an information that is extracted from Mobil LiDAR data and is required in different applications. In particular, road surface information is needed in the determination of road lanes and markings in traffic safety, in the analysis of road geometry, in determining potholes on the road, in analyzing wheel tracks. Therefore, the main focus of this study was the extraction of the road surface from the Mobile LiDAR data. Although the number of institutions and organizations with LiDAR technology is not widespread in our country, Mobil LiDAR technologies are used extensively in international projects and studies. The use of intensive data provides major gains for lowering project costs, efficient use of existing data, and support for different projects. Efficient use of data and facilitating information management, avoiding repetitive land surveys and obtaining millions of data in short periods of time, as well as feature extraction for the solution of the problems experienced in direct access to the requested information has become one of the most interesting data analysis subjects. In this study, the data collected with the Riegl VMX-450 Brand and model Mobile LiDAR device was used to extract the road surface by using the Regional Growth Segmentation algorithm.

Raw GNSS and laser measurements are processed in Applanix Pospac MMS software. With this data, the route and point clouds were extracted. Subsequently, pre-filtering and de-noising were performed.

In the third step, the ground and the above-ground points are filtered and the location points are recorded in the PCD file format. The final step was to complete the road surface extraction by applying the regional growth algorithm with the help of the PCL C++ library.

Keywords

Mobile LiDAR, Point Clouds, PCL, Regional Growing Segmentation, Road Extraction.

* Sorumlu Yazar: Tel: (0466)2151000-4668

E-posta: mzeybek@artvin.edu.tr (Zeybek M.)

1. Giriş

LiDAR teknolojisi, lazer sinyallerinin salınımı ve geri kaydedilmesi arasındaki süreye bağlı olarak mesafeleri (veya aralıklarını) ölçen bir teknoloji olan Işık Algılama ve Mesafe (Light Detection And Ranging) anlamına gelir. Platforma bağlı olarak sistemler isimlendirilir. Bunlar: Havasal LiDAR (ALS), Yersel LiDAR (TLS) ve Mobil LiDAR (MLS)'dir. Havasal LiDAR sistemleri bir hava aracına monte edilen lazer tarayıcı aktif bir ölçme sistemidir. Sisteme entegre GNSS/INS ve IMU sistemlerinden alınan konum ve dönüklük verileriyle tarama yapılan objenin 3B konum bilgisi hesaplanır (POLAT and UYSAL 2016).

Yersel LiDAR ve lazer tarayıcılar statik ve tek konumdan tarama yapan sistemlerdir. Lokal çalışmalarda ve yüksek hassasiyet gerektiren işlemlerde yoğun olarak kullanılır (Zeybek et al. 2015).

Mobil LiDAR sistemleri (MLS), yer bilimleri ve kentsel alanlar gibi pek çok çalışmada yaygın olarak kullanılmakta olan bir ölçme tekniğidir. Cadde ve şehir objelerine ait envanter haritalarının çıkarılması, nokta bulutunda yer alan ağaçlar, elektrik direkleri, bankalar, reklam tabelaları, billboardlar, alt yapı unsurları, bina sayımları, bina durumları, trafik işaretleri, trafik lambaları, yol durumu, bozuk asfalt ve bordür tespiti, kaldırım genişliği, yol genişliği, yol çizgileri, yaya geçidi çizgilerinin durumu tespiti, sayımı, ve buna benzer pek çok çalışma ve uygulamalar MLS ile yapılabilir (TEPEKÖYLÜ 2017). Sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri arasında farklı amaçlar için karşılaştırmalar yapılmıştır. Özellikle MLS ile fotogrametrik röleve alımı ve 3B şehir modelleme çalışmalarındaki yeterliliği veya yetersizliği ve kullanılabilirliği araştırılmıştır (Karasaka 2012).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri tabanlarının ve diğer uygulamaların güncellenmesi için, trafik ve yol güvenliği uygulamalarında dijital görüntülerden yol çıkartma geçmiş yıllarda büyük ilgi görmüştür. Aynı şekilde, MLS verileri ile yol çıkarma çalışmaları da yapılmaktadır. Kentsel alanlarda tam otomatik yol çıkartma, kentsel özelliklerin yapısının karmaşıklığı sebebiyle zorluklar yaşanırken görüntüler üzerinden yolların elle sayısallaştırılması ise oldukça zaman alan bir çalışmadır. Projelerde bu gibi zamansal ve iş gücünün fazla olduğu durumlarda, veri geliştirme faaliyetlerinin verimliliği ve doğruluğu düşerken maliyetin artması gözlemlenmektedir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda etkinliği arttırmak için yol çıkarımlarının yarı otomatik veya tam otomatik bir yaklaşım arayışları sürmektedir. Bu konuda literatürde pek çok çalışma yer almaktadır (Yadav et al. 2017, 2018; Xu et al. 2017; Zai et al. 2018; Jung et al. 2019) (Xu et al.).

Su kütleleri ve yol asfalt kaplama gibi zemin özellikleri genellikle çok düşük MLS yoğunluk (intensity) değerlerine sahipken, bazı bina çatıları da çok düşük yoğunluk değerleri gözlemlenir. Bu nedenle, MLS yoğunluk verilerinin ve dijital yüzey modellerinin (DSM) veya dijital yükseklik modellerinin (DEM) entegrasyonu yol çıkarma için kullanılan çalışmalar bulunmaktadır. Nokta bulutlarının işlenmesinde pek çok özellik çıkarımı ve segmentasyon yöntemleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bunlar genel olarak Hough Dönüşümü (Hough 1962), Rastgele Örneklem Konsensüsü (RANSAC) (Fischler and Bolles 1981), Temel Bileşen Analizi (PCA) (Weinmann et al. 2015), Hızlı Nokta Özelliği Histogramları (FPFH) (Rusu et al. 2009), Bağlı Bileşenler (Vosselman et al. 2004), Graph-Cut ve Supervoxelization (Golovinskiy and Funkhouser 2009), Bölge Büyüme (Rabbani et al. 2006) dahil olmak üzere, nesne tanıma ve sınıflandırma için yaygın olarak kullanılan genel yaklaşımlardır.

Bu çalışmanın katkısı, MLS 3B nokta bulutu verilerinden asfalt yol yüzeyinin çıkarımında önce yer üzeri noktaların filtrelenmesi ve yer noktaları içinden yüzeysel yumuşama değerlerine göre segmentasyonunun yapılmasıdır. Bu sayede hem performans artırılmıştır, hem de yol yüzeyleri yüksek doğruluk oranlarında bulunmuştur.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde segmentasyon için uygulanan yöntemler ile ilgili detaylar verilmiştir. İş akışı; yer ve yer üzeri noktaların tespiti, noktaların seyreltilmesi, yüzey normallerinin hesaplanması, Bölge Büyüme parametrelerinin belirlenmesi, Concave Hull (De Berg et al. 2008) sınır belirleme, nokta bulutlarının kırılması şeklinde belirlenmiştir.

Yol yüzeyi noktalarının tespitinde iki farklı temel prensip: 1) yol güzergâhı yaklaşık olarak GNSS verisi, 2) kentsel alanlardaki yollarda genellikle yol yüzeyi üzerinde 5-30 cm yüksekliğinde bulunan kaldırım bordürlerinin yol ve yol kenarının ayrılması için kullanılmıştır.

2.1 Veri Toplama

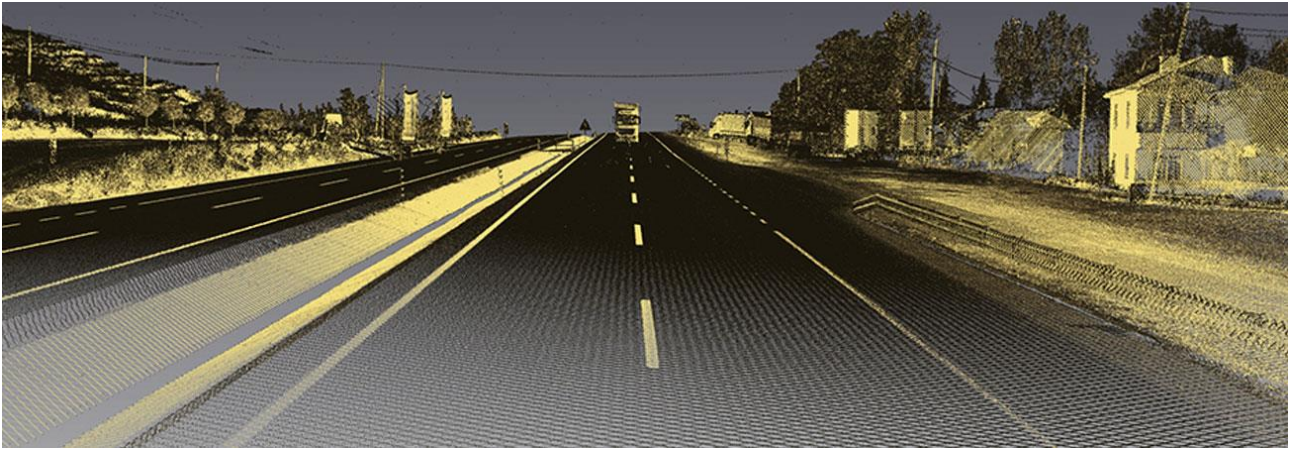
Bu çalışmada RIEGL VMX-450 Mobil Lazer Tarama Sistemi kullanılmıştır (

Şekil 1). Bu sistem ile normal-yüksek sürüş hızlarında yoğun, doğru ve özellik açısından zengin verilerin temini mümkündür. Sistem araç üzerinde taşıyıcıya monte edilmiş ölçüm platformu halinde yerleştirilmiş iki RIEGL VQ-450 lazer tarayıcının yanı sıra GNSS/INS ekipmanlarını kullanır (

Şekil 2). Ayrıca tekerleğe monte edilmiş bir mesafe ölçüm göstergesi (Odometre) kullanır. Kamera platformu, dört adet dijital kamera ile RGB piksel değerlerinin nokta bulutlarına özellik olarak kaydedilmesini sağlar. Sistem haritalama yönetmelik ve standartlarına uygun doğruluğa ve yüksek çözünürlüğe sahiptir.



Şekil 1. MLS sistemi, kameralar, tarayıcı ve GNSS sistemi



Şekil 2. MLS ile elde edilmiş yoğun nokta bulutu verisi

VMX-450 sistemi ortalama 30 km/s hızla hareket eden bir pikap tavanına monteli olarak ölçümler tamamlanmıştır. İki farklı VQ-450 lazer tarayıcı, sol ve sağ taraflarda simetrik olarak "X" deseniyle yapılandırılmıştır. Taranan verinin konumsal doğruluğu 8 mm'dir, hassasiyeti 5 mm'dir ve maksimum etkili ölçüm hızına saniyede 1.1 milyon lazer gönderme gücüne sahiptir. Kentsel bölgelerde, 1,1 MHz tarama hızıyla yüksek yoğunlukta veri elde edilmesi için 30 km/s hızla 70 m'de 500 noktaya erişebilmektedir. Bu değer 10 m tarama mesafesinde 3000 noktaya tekabül etmektedir.

2.2. Yer ve Yer Üzeri Noktaların Tespiti

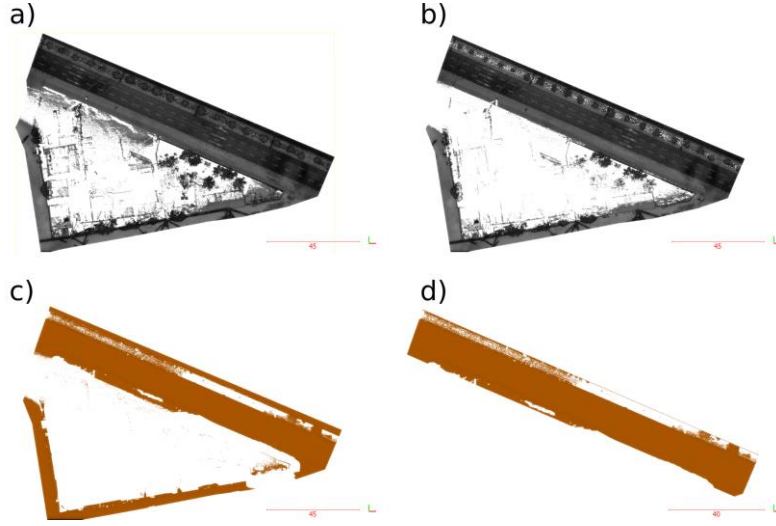
Bu bölümde Bez Simulasyon Filtreleme (CSF) algoritması uygulanmıştır (Zhang et al. 2016). R programlama yazılımı *RCSF* fonksiyonu kullanılarak nokta bulutları yer ve yer üzeri noktalar olarak filtrelenmiştir (Ihaka and Gentleman 1996). CSF algoritması ile 10 cm yüzeysel değişimlere kadar yer noktaları ve üzeri nokta bulutları sınıflandırılabilir. Bu durumda pek çok nokta yer üzeri sınıfına atanmaktadır. Ancak tarama bölgesi içinde yol yüzeyi dışında pek çok nokta yol yüzeyi adayı olmaktadır. Özellikle yerleşim yerlerinde yaya kaldırımı da yer almaktadır. Bu nedenle kaldırımların asfalt yol yüzeyinden ayrılması gerekmektedir.

2.3. Veri İşleme ve Bölge Büyüme Algoritması

Performans ve veri işleme gücünün artırılması için veriler seyreltilmelidir. Seyreltme işlemi istatistiksel dağılımlara göre yapılabilmektedir. Bunun yanında Voxelgrid algoritması da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzeyi daha iyi ifade eden Voxelgrid filtresidir. Seyreltme işlemi ardından yüzey normalleri hesaplanmıştır. Yüzey normalleri ile eğrilik değerlerinin hesaplanması Bölge Büyüme algoritması için ön bilgiyi sağlamaktadır. (Rabbani et al. 2006) tarafından önerilen segmentasyon algoritması, burada uygulanmıştır. Uygulama için Nokta Bulutları Kütüphanesi (PCL)'den yararlanılmıştır (Rusu and Cousins 2011).

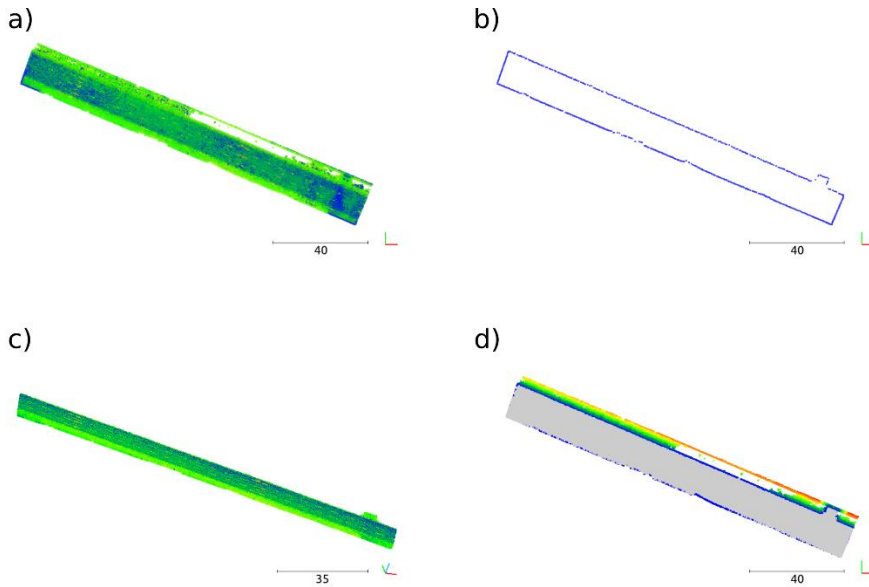
3.Sonuçlar

Uyuşumsuz ölçüler analiz öncesinde istatistiksel yöntemlerle silinmiştir (Şekil 3b). CSF algoritması uygulanarak yer üzeri noktalar tüm nokta bulutlarından filtrelenmiştir. Filtrelenen yer noktaları için platforma entegreli GNSS sisteminden elde edilen araç izi GNSS verisi ile 50 m genişliğinde yol güzergahı yaklaşık olarak tespit edilmiştir (Şekil 3d).



Şekil 3: Nokta bulutlarında uyuşumsuz ölçülerin giderilmesi ve yer noktalarının çıkarılması a) ham nokta bulutu, b) Uyuşumsuz ölçülerin giderilmesi, c) CSF yer noktalarının çıkarılması, d) platforma izine göre yaklaşık yol güzergahındaki noktaların çıkarılması.

Tespit edilen yol güzergahının rastgele örnekleme tabii tutularak, 1000000 noktaya seyreltilmiş noktalar üzerine Bölge büyüme algoritması uygulanmıştır. Uygulama sonrasında elde edilen noktalar için Concave hull algoritması yardımıyla yol sınırları tespit edilmiştir. Tespit edilen asfalt yol yüzeyini temsil eden noktalar ham verilerden çıkarılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Yol çıkarımı, a) Buffer analizi ile çıkarılmış yol, b) seyreltilmiş nokta ile Bölge Büyüme algoritması Concave hull algoritması sınırları, c) ham noktaların Concave hull sınırlarına göre kırılması, d) asfalt yol yüzeyi.

Mobil LiDAR 3B nokta bulutu verilerine Bölge Büyüme Segmentasyon yöntemi uygulanarak yerleşim yerlerinde asfalt yol yüzeyinin çıkarımı sunulmuştur Uygulama sonucunda bölge büyüme algoritması öncesinde yüzey normalleri ve seyreltme işlemleri uygulanarak veriler seyreltilmiş ve yol yüzeyinin çıkarımı performansı artırılmıştır. Concave hull algoritması ile yol sınırları tespit edilmiştir. Sınırları tespit edilen asfalt yol yüzeyinin ham nokta bulutlarından çıkarımı yapılmıştır.

Yoğun verilerin işlenmesinde performans artırımı sağlanmıştır. Ancak, yoğun işlem yapılması, günlük bilgisayar kullanımlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Donanımların gücünün artırılması gerekmektedir.

Bölge büyüme algoritması yol yüzeyinin düzlem olmayan bölgelerde de yol yüzeyinin çıkarımında başarılı olmaktadır. Kentsel alanlarda kullanılabilirliği bu çalışma ile ortaya koyulmuştur. Farklı yoğunluklarda farklı parametrelerin test edilmesi ve ayrıca yol ekseninden sapmaların tespit edilmesi için, yaya geçişleri, bisiklet yolu gibi yanlış tespit edilen yol yüzeyinin optimize edilmesini sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda, farklı asfalt yol yüzeyi ve yoğunluktaki bölgesel büyüme parametrelerinin etkisi, yol çıkarımındaki kalite değerlendirmelerinin yapılması ve kentsel alanlar dışındaki bölgelerde yol yüzeylerinin çıkarımı için çalışmalar da planlanmaktadır.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleşmesinde veri temini sağlayan Koyuncu LiDAR Harita firması çalışanlarına ve Genel Müdür Mustafa Koyuncu'ya teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- De Berg M, Cheong O, Van Kreveld M, Overmars M (2008) Computational geometry: Algorithms and applications
- Fischler MA, Bolles RC (1981) Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun ACM* 24:381–395
- Golovinskiy A, Funkhouser T (2009) Min-cut based segmentation of point clouds. In: 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, ICCV Workshops 2009. pp 39–46
- Hough PVC (1962) Method and Means for Recognizing Complex Patterns. US Pat 3069654
- Ihaka R, Gentleman R (1996) R: A Language for Data Analysis and Graphics. *J Comput Graph Stat* 5:299–314. doi: 10.1080/10618600.1996.10474713
- Jung J, Che E, Olsen MJ, Parrish C (2019) Efficient and robust lane marking extraction from mobile lidar point clouds. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 147:1–18. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.11.012
- Karasaka L (2012) Mobil yersel lazer tarama sistemlerinin fotogrametrik rölöve projelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- POLAT N, UYSAL M (2016) Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilim Derg* 16:679–692
- Rabbani T, van den Heuvel F a, Vosselman G (2006) Segmentation of point clouds using smoothness constraint. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci - Comm V Symp 'Image Eng Vis Metrol* 36:248–253
- Rusu RB, Blodow N, Beetz M (2009) Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration. In: *ieeexplore.ieee.org*. pp 3212–3217
- Rusu RB, Cousins S (2011) Point cloud library (pcl). In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. pp 1–4
- TEPEKÖYLÜ S (2017) Mobil Lidar Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri. *Geomatik* 1:1–7. doi: 10.29128/geomatik.294065
- Vosselman G, Gorte BGH, Sithole G, Rabbani T (2004) Recognising structure in laser scanner point clouds. *Remote Sens Spat Inf Sci* 32:33–38. doi: 10.1002/bip.360320508
- Weinmann M, Jutzi B, Hinz S, Mallet C (2015) Semantic point cloud interpretation based on optimal neighborhoods, relevant features and efficient classifiers. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 105:286–304. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.01.016
- Xu S, Wang R, Geoscience HZ-IT on, 2017 undefined Road curb extraction from mobile lidar point clouds. *ieeexplore.ieee.org*
- Xu S, Wang R, Zheng H (2017) Road curb extraction from mobile LiDAR point clouds. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 55:996–1009. doi: 10.1109/TGRS.2016.2617819
- Yadav M, Kumar Singh A, Lohani B (2017) International Journal of Remote Sensing Extraction of road surface from mobile LiDAR data of complex road environment Extraction of road surface from mobile LiDAR data of complex road environment. *India Int J Remote Sens* 38:4655–4682. doi: 10.1080/01431161.2017.1320451
- Yadav M, Lohani B, Singh AK (2018) Road surface detection from mobile lidar data. In: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus GmbH, pp 95–101
- Zai D, Li J, Guo Y, et al (2018) 3-D Road Boundary Extraction from Mobile Laser Scanning Data via Supervoxels and Graph Cuts. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 19:802–813. doi: 10.1109/TITS.2017.2701403
- Zeybek M, Şanlıoğlu İ, Özdemir A (2015) Monitoring landslides with geophysical and geodetic observations. *Environ Earth Sci* 74:6247–6263. doi: 10.1007/s12665-015-4650-x
- Zhang W, Qi J, Wan P, et al (2016) An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sens* 8:. doi: 10.3390/rs8060501