3DETECTOR - LIDAR NOKTA BULUTU VERİSİNDEN OTOMATİK AĞAÇ KONUMU BELİRLEME SİSTEMİ

Büşra ŞAHİN¹, Cengiz GÜZEL², Sıla BAŞ³, Mustafa TÜRKER⁴

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, busraasahin@yandex.com

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, cengizguzelll@yandex.com

³Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, sila.bass@yandex.com

⁴Prof. Dr. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, mturker@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisinden ağaç konumlarını otomatik belirleyen bir sistem (3Detector) geliştirilmiştir. Sistem; 'Las Infos', 'Functions', 'Tree Detection' ve 'Output' bileşenlerinden oluşmaktadır. 'Las Infos' bileşeni, girdi nokta bulutu verisine ait istatistiksel bilgileri göstermektedir. 'Functions' bileşeninde Blunder Removing, Ground Points, Non-Ground Points, Ground and Non-Ground Points, DTM (Digital Terrain Model) ve DSM (Digital Surface Model) fonksiyonları yer almaktadır. 'Tree Detection' bileşeni; iki ağaç arasındaki ortalama mesafeyi kullanıcıdan girdi olarak K-Means kümeleme algoritması ile ağaç konumlarını otomatik tespit etmektedir. 'Output' bileşeni; uygulamalar neticesinde elde edilen hatalardan arındırılmış verinin, yer ve yer üstü noktaların ve otomatik tespit edilen ağaç konumlarının koordinatlarının text formatında kaydedilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen sistemin, İzmir Bergama bölgesinde seçilen ağaçlık bir alanda testleri neticesinde %75.2 doğruluk oranı elde edilmiştir. LiDAR verisi kullanarak ağaçların tespit edilmesi, nesne çıkarımı için önemli bir başlangıç adımdır. Ağaç konumlarının belirlenmesi tarım alanlarının ve ormanların yönetimi için önemlidir. Sürdürülebilir tarım ve orman yönetimi bilgisi için, sadece gelecekteki tarım ve orman yönetiminin planlanması yeterli değildir. Bununla birlikte, tarım alanlarının ve ormanların mevcut durumlarının belirlenmesi de gerekmektedir. Bu nedenle tarım alanlarının ve ormanların izlenmesi ve bu alanlarda oluşan hasarların değerlendirilmesi gibi çeşitli uygulamalar için ağaç konumlarının otomatik belirlenmesi zorunlu olmuştur. Bu çalışmada geliştirilen 3Detector sistemi bu amaçlar için kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: otomatik ağaç konumu belirleme, LIDAR, nesne çıkarımı, sayısal arazi modeli, sayısal yüzey modeli

ABSTRACT

3DETECTOR - DEVELOPING AUTOMATIC TREE DETECTION SOFTWARE FROM 3D LIDAR POINT CLOUD

In this study, a system (3Detector), which automatically detects tree locations from the LiDAR (Light Detection and Ranging) point cloud data, was developed. The system consists of the components 'Las Infos', 'Functions', 'Tree Detection' and 'Output'. The 'Las Infos' component displays the statistical information about the input point cloud data. The 'Functions' component consists of the functions Blunder Removing, Ground Points, Non-Ground Points, Ground and Non-Ground Points, DTM (Digital Terrain Model) and DSM (Digital Surface Model). The 'Tree Detection' component automatically detects tree locations using the K-Means clustering algorithm by taking the average distance between two trees from the user. The 'Output' component records the coordinates of the denoised data, ground and non-ground points, and the automatically detected tree locations in text format that are obtained as a result of the applications. As a result of the test of the developed system on a selected woodland field in the Bergama, İzmir region, 75.2% accuracy rate was achieved. Detecting trees using LiDAR data is an important initial step for object extraction. Detection of tree locations is important for the management of agricultural lands and forests. For sustainable agriculture and forest management, the planning of future agriculture and forest management only is not sufficient. It is also necessary to determine the current conditions of the agricultural areas and forests. Thus, automatic detection of tree locations has become necessary for various applications, such as the monitoring of agricultural areas and forests, and damage assessment that occur in these areas. The 3Detector system developed in this study can be used for these purposes.

Keywords: tree detection, LiDAR, object detection, digital terrain model, digital surface model

1.GİRİŞ

Lazer tarama 2000’li yılların başında geliştirilmiş, geleneksel ölçme tekniklerine göre çok daha hızlı ve kapsamlı veri sunan, 3 boyutlu nokta bulutu bilgileri ile yüksek doğrulukta sonuçlar elde edebilen bir teknolojidir. LiDAR (Light Detection and Ranging), şehir merkezleri, ormanlık alanlar ve enerji nakil hatları gibi ölçümlerin güçlükle yapılabildiği bölgeler için yeni imkânlar sunmaktadır. LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik nesne çıkarımı ile ilgili çalışmaların son yıllarda hızla arttığı görülmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak, bina sınırı çıkarımı (Torun vd., 2013), bina çatısı çıkarımı (Düzgün vd., 2013), yol çıkarımı (Harita Genel Komutanlığı, 2012), araç çıkarımı, enerji nakil hatlarının çıkarımı, kıyı kenar çizgisi çıkarımı (Kalkan vd., 2010) ve ağaç çıkarımı verilebilir. LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik ağaç tespiti son yılların yaygın araştırma konuları arasında yer almıştır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalardan Biener vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada geliştirilen algoritmanın lazer tarayıcı ile elde edilmiş 574 ağaç üzerinde yapılan testleri neticesinde %97.4 başarı oranı elde edilmiştir. Yanlış tespit olasılığını düşürmek amacıyla ağaçların kök çapları kullanılan parametreler arasına dahil edilmiştir. Rutzinger vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada mobil lazer tarama verileri kullanılarak alfa şekilleri yöntemi ile tek ağacın özelliklerinin bulunması amaçlanarak tespit edilen ağaç cinslerinin ve aynı cins ağaçların kümelerinin büyüklükleri belirlenmiştir. Karslı vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise hava lazer tarama verileri kullanılarak, Viyana şehir merkezi test alanında RANSAC algoritmasıyla verilerin sınıflandırılmasında tatmin edici düzeyde sonuçlar üretildiği ortaya konmuştur. Özdemir (2012) tarafından yapılan bir çalışmada yersel lazer tarama verileri kullanılarak tek ağaç özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış, tespit edilen ağaç cinslerinin ağaç gövdeleriyle orantılı olduğu belirlenmiştir. Yakın zamanda Akgül vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, yersel lazer tarama verileri kullanılarak kentsel ortamlardaki bireysel ve aile şeklinde ağaçların modellenmesine yönelik parametrelerin ölçümü yapılarak statik ve dinamik kitle oranları ve ilişkileri 3 boyutlu ağaç modeli üzerinde ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın amacı belirtmiş olduğumuz eski çalışmalardan yola çıkarak, LiDAR nokta bulutu verisinden ağaç konumlarını otomatik olarak tespit eden ve bu tespit işleminin yanı sıra hatalı noktaların temizlenmesi, yer filtrelemesi, sayısal arazi ve yüzey modellerinin üretilmesi ve girdi nokta bulutu verisine ait istatistiksel bilgilerin gösterilmesine olanak sağlayan fonksiyonları içeren bir sistem geliştirmektir. Sistemin testleri için, İzmir- Bergama ilçesi sınırları içinde yer alan düzenli ekim aralığına sahip bir ağaçlık alan seçilmiş, bu alana ait 3 boyutlu nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Çalışmada tarım alanları veya ormanlardan elde edilen LiDAR nokta bulutu verisinden yer filtreleme, Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretimi, ağaçların konumlarını belirleme, .las formatlı verinin .txt formatında kaydedilmesi işlemleri yüksek bir doğruluk ile gerçekleştirilmiştir. LiDAR ile elde edilen verilerin doğruluğunun, geleneksel ölçme yöntemleri ile elde edilen verilere göre çok daha yüksek olması ve 3 boyutlu LiDAR nokta bulutu verisinden, otomatik nesne çıkarılması alanında geliştirilmiş yazılımların yaygın olmaması durumları düşünüldüğünde, mevcut sistemin geliştirilmesi ile yapılabilecek işlemlerin bu alana önemli katkıları olacağı düşünülmektedir.

1.1 Sistem Bileşenleri

Geliştirilen sistem 4 bileşenden oluşmaktadır (Şekil 1). Bu bileşenler; *Las Infos*, *Functions*, *Tree Detection* ve *Output* olarak adlandırılmıştır. *Las Infos* bileşeni, girdi nokta bulutu verisine ait istatistiksel bilgileri göstermektedir. Bu istatistiksel bilgiler; minimum ve maximum x-y-z değerleri, kaydedilen nokta sayısı (Number of point records) ve kaydedilen noktaların dönüş sırası (Return numbers) bilgileridir (Şekil 1a). *Functions* bileşeninde sistemde kullanılabilecek fonksiyonlar yer almaktadır (Şekil 1b). Bu bileşen; hatalı noktaların giderilmesi (*Blunder Removing*), yer filtrelemesi işlemiyle yer ve yer üstü noktaların ayrılması (*Ground Points/ Non-Ground Points*), Sayısal Arazi Modeli (*SAM-Digital Terrain Model-DTM*) ve Sayısal Yüzey Modeli (*SYM-Digital Surface Model-DSM*) fonksiyonlarını içermektedir. *Tree Detection* bileşeni; kullanıcıdan iki ağaç arasındaki ortalama mesafeyi girdi alarak, ağaç konumlarını, ağaç sayısını ve toplam alanı otomatik tespit etmektedir (Şekil 1c). *Output* bileşeni; uygulanan fonksiyonlar sonucunda hataları giderilmiş veriye ait x-y-z koordinat değerlerini, yer ve yer üstü noktalara ait koordinat değerlerini ve otomatik olarak tespit edilmiş ağaçların koordinatlarını text (.txt) formatında kaydeden butonlardan oluşmaktadır (Şekil 1d).

Sistemde kullanılan yöntemler ve algoritmalar, yoğun matematiksel işlemler içermektedir. Dolayısıyla sistem bu matematiksel işlemleri hızlı ve doğru bir şekilde çözebilecek programlama dili olan MATLAB ortamında geliştirilmiştir. Sistem arayüzü geliştirilirken sade ve kullanışlı olmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 1. 3Detector sistem bileşenleri.

1.2 Blunder Removing Fonksiyonu

LiDAR nokta bulutu verisi, 3 boyutlu noktalardan oluşmaktadır. Ham veri, atmosferik etkiler sonucu hatalı noktalar içermektedir. Bu çalışmada, LiDAR nokta bulutu verisinden hataların giderilmesi için Kd-Ağacı (Kd-Tree) tabanlı algoritma kullanılmıştır. Kd-Ağacı, her düğümün bir k-boyutlu nokta olduğu ikili bir ağaçtır. Yaprak olmayan her düğümün, boşlukları alt uzaylar olarak bilinen iki bölüme ayıran bölünmüş bir hiper düzlem oluşturduğu düşünülebilir. Bu hiper düzlemin solundaki noktalar, o düğümün sol alt ağacını temsil eder ve hiper düzlemin sağ tarafındaki noktalar sağ alt ağaç tarafından temsil edilir. Hiper düzlemin yönü; ağdaki her düğümün, boyutun eksenine dik olan hiper düzlem ile k boyutlarından biriyle ilişkilendirilerek belirlenir. Belirli bir bölme için "x" eksen seçilirse, alt ağaçtaki tüm noktalar düğümden daha küçük bir "x" değerine sahip olacak ve sol alt ağaçta tüm noktalar daha büyük "x" değerine sahip olacaktır. Bu durumda hiper düzlem, noktanın "x" değeriyle ayarlanır ve normali "x" eksenidir. Algoritma tüm veri seti için tekrarlanır. Hatalı noktalar tespit edilerek veri setinden çıkartılır (Shen vd., 2014). Çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinin, Kd-Ağacı algoritması ile hatalı noktaların giderilmesinden sonraki görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2. Hatalardan arındırılmış LIDAR nokta bulutu verisi.

1.3 Ground Filtering ve Non-Ground Filtering Fonksiyonları

Ground Filtering ve *Non-Ground Filtering* fonksiyonları 3 boyutlu LiDAR nokta bulutu verisini yer ve yer üstü noktalara ayırmaktadır. SYM oluşturmak için yer noktalarının filtrelenmesi önemlidir. Bunun için çeşitli filtreleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bununla birlikte, geliştirilen bu filtreleme algoritmalarında bile, yüksek doğruluk elde edebilmek için bir dizi karmaşık parametrelerin değerlerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yer ve yer üstü noktalarını ayırmak için *Cloth Simulation Filtering (CSF)* kullanılmıştır (Zhang vd., 2016). Bu filtreleme yöntemi, 3 boyutlu bilgisayar grafik simülasyonudur ve basit bir fiziksel sürecin simülasyonuna dayanmaktadır. Yüzeye serilen hayali kumaşı simüle etmek için kullanılır (Şekil 3).

Şekil 3. Cloth Simulating Filtreleme Algoritması (Zhang and Qi, 2016).

Bu yaklaşımda, 3 boyutlu nokta bulutu verisi ters çevrilir ve çevrilen yüzey kumaş ile kaplanır. Kumaş düğümleri ve karşılık gelen LiDAR noktaları arasındaki etkileşimlerin analiz edilmesiyle kumaş düğümlerinin yerleri, zemin yüzeyinin üretilmesi için kullanılır. Üretilen yüzey ile yer noktaları elde edilmiş olur (Şekil 4a). 3 boyutlu nokta bulutu veri seti ters çevrilmeden yüzey kumaş ile kaplandığında; kumaş düğümleri ve karşılık gelen LiDAR noktaları arasındaki etkileşimlerin analiz edilmesiyle, kumaş düğümlerinin yerleri, yüzeyin üretilmesi için kullanılır. Böylece, üretilen yüzey ile yer üstü noktalar elde edilmiş olur (Şekil 4b).

Şekil 4. a) Sistemin *Ground Points* butonu ile ayrılmış yer noktaları, b) *Non-Ground Points* butonu ile ayrılmış yer üstü noktalar.

1.4 DTM ve DSM Fonksiyonları

Çalışmada, SYM ve SAM üretimi için Kademeli Morfolojik Filtreleme (*Progressive Morphological Filtering*) yöntemi kullanılmıştır. Kademeli Morfolojik Filtreleme yönteminde, sabit pencere büyüklüğüne bağlı olarak yaşanan kısıtlamaları ortadan kaldırmak için sabit pencere büyüklüğü yerine farklı büyüklüklere sahip birden çok arama penceresi boyutu kullanılmaktadır. Bu yöntem, morfolojik filtreleme algoritmalarının farklı büyüklükteki nesneleri filtrelemedeki zayıf yönlerini giderebilmek için pencere büyüklüğüne bağlı olarak değişen yükseklik eşik değeri parametresini tanımlar. Böylece karmaşık arazi yapılarının daha iyi filtrelenmesini sağlar (Zhang vd., 2003). Çalışma alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinden, sistemin *DTM* butonu ile elde edilmiş SAM Şekil 5a'da, *DSM* butonu ile elde edilmiş SYM Şekil 5b'de gösterilmiştir.

Şekil 5. a) Sistemin DTM butonu ile elde edilen SAM ve b) DSM butonu ile elde edilen SYM.

1.5 Tree Detection Bileşeni

Sistemin *Tree Detection* bileşeni, yer üstü nokta bulutu verisinden, K-Means Kümeleme yöntemiyle ağaçların konumlarını otomatik olarak tespit etmektedir. K-Means en yaygın kullanılan kümeleme yöntemlerinden biridir. K-Means'in mekanizması bir grup verinin birden fazla küme özelliğine göre hangi kümeye ait olduğunu bulunmasıdır. Kullanılan matematiksel yöntem her sınıf için merkez belirlenen noktaya uzaklığa göre yeni kümelerin yerleştirilmesidir. Algoritma temel olarak, küme merkezlerinin belirlenmesi, merkez dışındaki örneklerin mesafelerine göre sınıflandırılması ve yapılan sınıflandırmaya göre merkezlerin belirlenmesi şeklindedir. Veri seti kararlı hâle gelene kadar sınıflandırma ve yeni merkezlerin belirlenmesi işlemi devam eder. Bu çalışmada geliştirilen sistemde kullanıcıdan istenilen girdi, iki ağaç arasındaki ortalama mesafe olarak belirlenmiştir. Sistem, ağaç konumlarını, ağaç sayısı ve bölgenin toplam yüzey alanı bilgisini otomatik olarak tespit etmektedir. Şekil 6' da, çalışma alanına ait LiDAR yer üstü nokta bulutu verisi kırmızı renkte, sistem tarafından otomatik tespit edilen ağaç konumları ise siyah çarpı işareti ile gösterilmiştir.

Şekil 6. Tree Detection butonu ile elde edilen ağaç konumları.

2. TESTLER VE BULGULAR

Geliştirilen sistem, İzmir ili Bergama ilçesi sınırları içinden seçilen 9752 m²'lik bir ağaçlık alanda (Merkez koordinatları: 4331600.00, 518230.00, WGS84 UTM – Zone 35N) test edilmiştir. Çalışma alanında toplam 374 ağaç bulunmaktadır. Alana ait renkli ortofoto Şekil 7'de gösterilmiştir. Lazer tarama verileri Optech firması tarafından 25 Ekim 2014 tarihinde 1200 m yükseklikten çekilmiştir. LiDAR verisi toplam 257891 noktadan oluşmakta ve nokta yoğunluğu 26.44 nokta/m²'dir. Nokta bulutu verisinin %15.6'sı son dönüşten gelen noktalardır.

Şekil 7. Çalışma alanı renkli (RGB) ortofoto görüntüsü.

Ağaç konumları ArcMap programında ortofoto üzerinde manuel olarak işaretlenerek doğruluk analizleri için referans veri seti hazırlanmıştır. Programın otomatik olarak tespit ettiği ağaç konumları, referans veri setindeki ağaç konumları ile karşılaştırılarak programın doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizi için konumsal yakınlık kriteri baz alınmıştır. Sistemin tespit ettiği ağaç konumu ile referans ağaç konumu arasındaki mesafe 3 m’den düşük ise tespit edilen ağaç konumu doğru kabul edilmiştir. Aksi takdirde, ağaç konumunun yanlış tespit edildiği kabul edilmiştir. Bu şekilde otomatik tespit edilen ağaç konumları referans ağaç konumları ile karşılaştırılmış ve çalışma alanında %75.2 (194/258) doğruluk değeri elde edilmiştir. Sistemin otomatik tespit ettiği ağaç konumları yeşil çarpı işareti şeklinde alana ait renkli ortofoto ile karşılaştırılmış olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 8. Sistem tarafından otomatik olarak elde edilen ağaç konumlarının (yeşil renkli çarpı işaretler) çalışma alanına ait ortofoto ile karşılaştırılmış gösterimi.

Alanda yer alan ağaçların farklı boyutlarda olduğu, taç kapamaların farklı büyüklüklerde olduğu Şekil 9’ deki renkli ortofotoda görülmektedir. Bu durum, programın K-Means kümeleme yöntemiyle otomatik ağaç tespitinde doğruluk oranını olumsuz yönde etkilemiştir.

Şekil 9. Ağaç büyüklüklerinin farklı boyutlarda olduğu alanlar renkli ortofotoda görülmektedir.

Sistemin ağaç konumlarını doğru tespit etmediği bazı durumlar fark edilmiştir. Özellikle ağaç yoğunluğunun yüksek olduğu kısımlarda sistemin olması gerekenden daha fazla sayıda ağaç tespit ettiği görülmüştür. Örneğin, Şekil 10'da gösterilen beyaz daire içindeki ağaç yoğunluğunun yüksek olduğu bölgede doğru tespit oranının düştüğü görülmüştür. Sistemin yanlış ağaç tespiti nedenlerinden bir diğeri ise K-Means algoritmasının kümeleme işlemini tarama yönünde gerçekleştirmesidir. Buna örnek Şekil 11'de gösterilmiştir.

Şekil 10. Ağaç yoğunluğunun yüksek olduğu bir kısım.

Şekil 11. Tarama yönünün sonuçlara etkisi.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen 3Detector programı ile; LiDAR nokta bulutu verisi .las formatında okunabilmekte, hatalı noktalar giderilebilmekte, yer ve yer üstü noktaların filtrelemesi işlemi yapılabilmekte, SYM ve SAM oluşturulabilmekte, ağaç konumları otomatik olarak tespit edilebilmekte, nokta bulutu verisinden istatistiksel veriler elde edilebilmekte, hatalardan arındırılmış noktaların, yer noktaların ve yer üstü noktaların koordinat değerleri .txt formatında kaydedilebilmektedir. Program, günlük yaşamda orman, bahçe işleri, ağaçlandırma ve kontrolünü sağlayan kurum ve kuruluşlar tarafından LiDAR nokta bulutu verisinden ağaç konumlarının otomatik tespiti için kullanılabilir. Program ayrıca, LiDAR nokta bulutu verisinden yer ve yer üstü noktaları ayırmak (yer filtreleme), SYM ve SAM üretmek isteyen tüm kurum, kuruluş ve kullanıcılar tarafından da kullanılabilir. Çalışmanın gelecek hedefleri arasında öncelikle, K-Means kümeleme yöntemi yerine alternatif algoritmalar kullanarak ağaç tespiti doğruluğunun artırılması yer almaktadır.

LiDAR ile elde edilen verilerin doğruluğunun oldukça yüksek olması ve 3 boyutlu LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik nesne çıkarımı konusunda geliştirilmiş yazılımların yaygın olmaması durumları düşünüldüğünde, geliştirilen mevcut programın ve geliştirilmesi hedeflenen ek fonksiyonlar ile yapılabilecek işlemlerin, bu alana önemli katkıları olacağı düşünülmektedir.

4. TEŞEKKÜR

Çalışmamıza katkılarından dolayı Harita Genel Müdürlüğüne, bilgilerini bizimle paylaşan Arş. Gör. Gizem KARAKAŞ, Arş. Gör. Murat GÜLER' e ve tasarıma katkılarından dolayı Ozan HİNDİSTAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Akgül, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Çoban S.,** 2016. Determination of some tree parameters using terrestrial laser scanner in urban green areas. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(2): 445-458.
- Alsabti, K., Ranka, S., Singh, V.,** 1997. An Efficient K-Means Clustering Algorithm. *Electrical Engineering and Computer Science*. 43.
- Arthur, D., and Vassilvitskii, S.,** 2007. K-means++: The Advantages of Careful Seeding. *SODA '07: Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, New Orleans, Louisiana, syf: 1027–1035.
- Bienert, A., Scheller, S., Keane E.,** 2007. Tree Detection and Diameter Estimations by Analysis of Forest Terrestrial Laser Scanner Point Clouds. *ISPRS Workshop on Laser Scanning*, Finland, 36(3).
- Kaartinen, H., Hyypä, J., and Yu, X.,** 2012. An International Comparison of Individual Tree Detection and Extraction Using Airborne Laser Scanning. *Remote Sensing*, 4(4), 950-974.
- Karşı, F., Pfeifer, N.,** 2013. Ransac Algoritması İle Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinden Bina Cephelerinin Otomatik Olarak Çıkarılması, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu*
- Özdemir, İ.,** 2013. Yersel lazer tarama ile tek ağaç özelliklerinin belirlenmesi, *SDU Faculty of Forestry Journal*, 14: 40-47
- Pingel, T. J., Clarke K. C., McBride, W. A.,** 2013. An Improved Simple Morphological Filter for the Terrain Classification of Airborne LIDAR Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77(1), 31-30.
- Rusu, R. B., Marton, Z. C., Blodow, N., Dolha, M., Beetz, M.,** 2008. Towards 3D Point Cloud Based Object Maps for Household Environments. *Robotics and Autonomous Systems Journal*, 56 (11), 927-941.
- Rutzinger, M. et al.,** 2010. Detection and Modelling of 3D Trees From Mobile Laser Scanning Data, *Commission V Symposium*, Newcastle, UK
- Shen, J., Liu, J., Zhao, R., Lin, X.,** 2014. A Kd-tree-based Outlier Detection Method for Airborne LiDAR Point Cloud: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing*, 2, 833-860.
- Wang, Y., Weinacker, H., and Koch, B.,** 2008. A Lidar Point Cloud Based Procedure for Vertical Canopy Structure Analysis and 3D Single Tree Modelling in Forest. *Sensors*, 8(6): 3938-3951.
- Zhang, K., Chen, S., Whitman, D., Shyu, M., Yan, J., Zhang, C.,** 2003. A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne Lidar Data, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 41(4).
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., Yan, G.,** 2016. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sensing*, 8(6), 501.