LİDAR VERİSİNDEN BİNA ÇATI DÜZLEMLERİNİN OTOMATİK ÇIKARIMI VE MODELLEMESİ

Murat GÜLER¹, Mustafa TÜRKER²

¹Arş. Gör., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, muratguler@hacettepe.edu.tr

²Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, mturker@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Üç boyutlu (3B) şehir modellerinde şehri oluşturan temel unsur olan binaların modellenmesi LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisinin en yaygın uygulama alanları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, İzmir ili Bergama ilçesi kent merkezinden seçilen farklı iki alana ait LiDAR nokta bulutu verilerinden bina çatı düzlemlerinin otomatik çıkarılması ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, önce bina sınıfına ait nokta bulutu verisine Bölge Büyüme Bölütleme-BBB (Region Growing Segmentation-RGS) algoritması uygulanarak, her bir binaya ait nokta bulutu kümesi ayrı olarak tespit edilmiştir. Sonra, tespit edilen her bir binaya ait nokta bulutu kümesine 3B Rastgele Örnek Uzlaşımı (RANSAC: 3D RANdom SAmple Consensus) algoritması uygulanarak bina çatılarının düzlemsel yüzeyleri otomatik olarak çıkarılmıştır. Bina çatı düzlemlerinin çıkarılmasından sonra, gürültü noktaları belirlenmiş ve çatı düzlemi noktalarından atılmıştır. Son aşamada, her binaya ait tespit edilen çatı düzlemlerinin modellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bina çatı modelleri görsel olarak incelendiklerinde, en başarılı sonuçların ikinci test alanında olduğu görülmüştür. İkinci test alanında daha başarılı sonuçların elde edilmesinin temel sebebi, RANSAC algoritmasının bu test alanında diğer alana göre daha başarılı sonuçlar vermiş olmasıdır.

Anahtar Sözcükler: bölütleme, LiDAR, otomatik çatı düzlemi çıkarımı, RANSAC, 3B şehir modeli

ABSTRACT

AUTOMATIC EXTRACTION AND MODELING OF BUILDING ROOF PLANES FROM LiDAR DATA

In 3D city models the modeling of buildings, which are the fundamental objects of a city, is one of the most used application areas of LiDAR point cloud data. In this study, automatic extraction and modeling of building roof planes from LiDAR point cloud data were carried out on two different study areas selected from the city center of Bergama, İzmir. In this respect, first, point cloud data that belong to each building was separated through applying the Region Growing Segmentation (RGS) algorithm. Then, building roof planes were automatically extracted by applying the RANSAC (RANdom SAmple Consensus) algorithm on point cloud data of each building. After extracting the building roof planes, the blunder points were detected and removed from the roof plane points. In the last step, the modeling process of the roof planes that belong to each building was carried out. Based on the visual interpretation of the generated building roof planes we can state that the best results belong to second test area. The main reason of achieving better results in the second test area is that the RANSAC algorithm provided better results compared to other test area.

Keywords: reconstruction, LiDAR, automatic roof plane extraction, RANSAC, 3D city models

1. GİRİŞ

Bir şehri oluşturan ana unsur bina olduğu için, binalar 3B şehir modellemesinde en çok talep gören nesnelerdir (Wei 2008). Kentsel alanlar, genellikle yol ve bina gibi topoğrafik unsurların inşası, yıkımı ya da genişletilmesindeki insan faaliyetleri nedeniyle hızla değişmektedir (Morgan ve Tempfli, 2000). Ayrıca, kentsel alanlarda yapılaşmanın hızlı bir şekilde artmasından dolayı, bina nesneleri güncel olmayabilir. Bu nedenle, 3B topoğrafik nesneleri güncel olarak belirlemek ve çıkarmak için hızlı ve doğru veri toplama teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. 3B kent verisi elde etmek için geleneksel fotogrametriye karşın LİDAR teknolojisini kullanmanın avantajları olarak yüksek hız, yüksek düşey doğruluk, yüksek yoğunluk ve düşük maliyet ön plana çıkmaktadır. LİDAR, bina, ağaç, zemin, yol ve enerji hatlarının özellik çıkarımı ve 3B geriçatımında kullanılmaya uygun bir veri toplama yöntemidir (Wei 2008). Geçmişten günümüze kadar yapılmış çalışmalardan Vosselman ve Dijkman (2001) tarafından yapılmış olan çalışmada, bina çatılarında düzlem noktalarını çıkarmak için Hough dönüşümü kullanılmıştır. Düzlem çatı yüzeyleri başlangıç segmentleri uzatılarak ve birleştirilerek elde edilmiştir. Geliştirilen algoritma, bulunan noktaların aynı çatı düzleminde olup olmadığını kontrol etmediği için yapılan bu çalışmada ek kriterler kullanılmıştır. Dorninger ve Nothegger (2007) tarafından yapılmış olan çalışmada, parametre uzayında kümelenecek başlatılan bölütleme algoritması, görüntü eşleştirme ve lazer taraması ile elde edilen nokta bulutları üzerinde uygulanarak güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Karsli ve Pfeifer (2012) tarafından yapılmış olan çalışmada, yalın yer yüzeyi veya herhangi bir bina vb. detayın çıkarımı için, diğer metodlara göre daha etkili olan RANSAC (RANdom SAmple Consensus)

algoritması uygulanarak, binaları ve arazi yüzeyini tespit eden olası en iyi düzlemler belirlenmiştir. RANSAC algoritması ile tatmin edici sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Çömert ve Avdan (2014) tarafından yapılmış olan çalışmada, 3B yersel LİDAR nokta bulutu verisinden düzlem, koni, silindir ve küre gibi şekillerin yüzeylerinin RANSAC algoritması ile otomatik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Burada yapılan işlemde doğruluğu incelemek için elle ve otomatik çıkarılan yüzeyler karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, 3B yersel LİDAR nokta bulutu verisinden otomatik yüzey çıkarım işleminde RANSAC algoritmasının oldukça başarılı olduğu belirtilmiştir. Canaz vd. (2015) tarafından göl sınırlarının otomatik olarak belirlenmesi için LiDAR verileri kullanılarak yapılmış olan bir çalışmada, su yüzeyi RANSAC algoritması kullanılarak çıkarılmıştır. Göl alanlarının düzlemsellik özelliği göstermesinden dolayı bu alanların RANSAC algoritmasıyla kolay bir şekilde çıkarıldığı belirtilmiştir. Demir (2016) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, yalnız LİDAR verisi kullanılarak çatıların 3B modellemesi yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, görüntüler kullanılarak oluşturulan 3B çizgilerin dahil edilmesiyle daha kaliteli sonuçların üretilebileceği belirtilmiştir. En güncel çalışmalardan olan Fan vd. (2018) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, Bölge Büyüme algoritmasının aşırı bölütleme ve tutarsızlık gibi problemlerini gidermek için, farklı nokta bulutu modellerine kendinden uyarlanır (self-adaptive) bölütleme algoritması uygulanarak %96 bölütleme doğruluk oranı elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, LiDAR verisinden, RANSAC algoritması ile bina çatı düzlemlerinin otomatik çıkarımını ve geriçatımını gerçekleştirmektir. Genel olarak, LiDAR nokta bulutu versinden bina geriçatımı işlemi üç temel adımda gerçekleştirilmektedir (Dorninger ve Nothegger, 2007). Bunlar; bina tespitinin yapılması, binaya ait bireysel çatı düzlemleri için düzlemsel yüzeylerin belirlenmesi ve model oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, bina modellerinin belirlenebilmesi için nokta bulutu verisinden düzlemsel yüzeyler otomatik olarak çıkarılacaktır. Böylece, bina geriçatımı işlemi için yukarıda belirtilen ilk iki adım gerçekleştirilmiş olacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Çalışmada kullanılan İzmir ili Bergama ilçesine ait hava LiDAR verileri Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından temin edilmiştir. Çalışma alanı olarak İzmir ili Bergama ilçesi kent merkezinden iki test alanı belirlenmiş ve bu alanlar Test_1 ve Test_2 olarak adlandırılmışlardır. Seçilen test alanlarından Şekil 1 (a)'da gösterilen Test_1'e ait LiDAR verisi, 1200 metre uçuş yüksekliğinde Riegl firmasının LMS-Q1560 Lidar sistemi tarafından ve Şekil 1 (b)'de gösterilen Test_2'ye ait LiDAR verisi, 1200 metre uçuş yüksekliğinde Optech firmasının Pegasus HA-500 LiDAR sistemi tarafından çekilmiştir (Kayı vd., 2015). Ham verinin son dönüşleri için metre kare başına nokta yoğunluğu Test_1 için 18.77 ve Test_2 için 22.63 noktadır.

a)

b)

Şekil 1. Test alanlarına ait LiDAR nokta bulutu verileri. (a) Test_1, (b) Test_2.

3. YÖNTEM

Yöntem altı temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; 1- Ön işlemler, 2- Bölge Büyüme Bölütleme (BBB) algoritması ile bölütleme, 3- RANSAC algoritması ile düzlem çıkarılması, 4- DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması ile düzlemde gürültü ayıklama, 5- Bina çatı düzlem sınırlarının çıkarılması ve 6- Douglas-Peucker algoritması ile bina çatı düzlem sınırlarının sadeleştirilmesi dir.

3.1. Ön İşlemler

Ön işlemler için *LAStools* yazılımı kullanılmıştır. *LAStools* yazılımı ortamında gerçekleştirilen ön işlemler; indeks oluşturma, gürültü giderme, örtüşen alanları belirleme, zemin ve nesne ayırımı yapma, ağaç ve binaları sınıflandırma ve bina sınıfını elde etme adımlarından oluşmaktadır.

3.2. Bölütleme

Nokta bulutu kütüphanesi tarafından elde edilen BBB algoritması C++ kodları, bina sınıfı test alanlarına uygulanmıştır. Algoritma, eğrilik ve yüzey normaleri arasındaki açı değerleri kriterlerini göz önüne alarak bir bina kümesine ait olan benzer özellikteki noktaları gruplandırmaktadır (Url-1 2018). Bir bina kümesine ait benzer özellikteki noktalar gruplandırılırken, öncelikle bütün noktaların yüzey normaleri hesaplanmaktadır. Yüzey normalerinin hesaplanmasının ardından bölütleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla her bir test alanında bina sınıfı nokta bulutuna bölütleme işlemi uygulanarak her bir binaya ait nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Şekil 2.'de BBB algoritmasının uygulanması ile Test_1 alanı LiDAR verisinin bölütlenmiş 26 adet bina nokta bulutu kümesi gösterilmektedir.

Şekil 2. BBB algoritmasının uygulanması ile Test_1’de bölütlenmiş 26 adet bina nokta bulutu kümesi. Her bir renk bir binayı temsil etmektedir.

3.3. Bina Çatı Düzlemlerinin Çıkarılması

Bölütlenmiş bina nokta bulutu kümelerinin her birine 3B RANSAC algoritması uygulanmıştır (Zaman 2011). RANSAC algoritması ile 3B nokta bulutu LiDAR verisinden düzlemleri elde etmek için, bir düzlem en az 3 noktadan oluşur yaklaşımıyla *modele uyması gereken en az veri noktası sayısı (no)* parametresi değeri 3 olarak seçilir ve algoritma nokta bulutu içerisinde rastgele 3 nokta seçerek model parametrelerini hesaplar. Sonrasında, bir veri noktasının modele uyup uymadığını belirlemek için *eşik değer (t)* parametresi belirlenir. Bölütlenmiş her bir bina nokta bulutu kümesine ait düzlem noktaları, *eşik değer* parametresi mesafe değeri sınırları içerisinde bulunan tüm noktalar, bir düzlem üzerinde bulunur yaklaşımıyla elde edilmiştir. Düzlem noktaları, test alanlarındaki tüm binalara ait nokta bulutu verisi için aynı parametre değerleri kullanılarak elde edilmiştir (Çizelge 1). Bu değerlerden *eşik değer* parametresi deneme yanılma yöntemi ile her iki test alanında bulunan verilere en uygun olacak şekilde, 0.10 metre olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla RANSAC algoritması ile her bir binayı temsil eden düzlemlere ait düzlem noktalarının çıkarılması sağlanmıştır (Şekiller 3, 4 ve5).

Çizelge 1. RANSAC algoritmasına ait parametreler ve değerleri.

Parametre	Değer
Modele uyması için gereken en az veri noktası sayısı (n_0)	3
İzin verilen en fazla yineleme sayısı (k)	168
Bir veri noktasının bir modele uyup uymadığını belirlemek için eşik değeri (t)	0.10 m
Bir modelin verilere iyi uyduğunu ileri sürmek için gereken yakın veri noktalarının sayısı (d)	Veriye göre değişiklik göstermektedir.

Şekil 3. Test_2 test alanında, 1 no'lu binaya ait; a) orjinal bina nokta bulutu verisi b) RANSAC algoritması ile elde edilen dört çatı düzlemine ait noktaların bir arada gösterimi.

Şekil 4. Test_2 test alanında, 2 no'lu binaya ait; a) orjinal bina nokta bulutu verisi b) RANSAC algoritması ile elde edilen dört çatı düzlemine ait noktaların bir arada gösterimi.

Şekil 5. Test_2 test alanında, 3 no'lu binaya ait; a) orjinal bina nokta bulutu verisi b) RANSAC algoritması ile elde edilen dört çatı düzlemine ait noktaların bir arada gösterimi.

3.4. Gürültü Noktaların Ayıklanması

Her binaya ait LiDAR nokta bulutu kümesine RANSAC algoritmasının uygulanması ile düzlem çıkarımı işleminde görülmüştür ki, görsel olarak başka bir düzlemde olması beklenen noktalar, bazen beklenenin aksine elde edilen düzlem üzerinde bulunabilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında, gürültü olarak adlandırılan bu aykırı noktaların ayıklanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Gürültü noktaların elde edilen düzlemden kaldırılması için, bölümlenmeli kümeleme algoritması K-Means'ten daha üstün küme oluşturma özelliğine sahip yoğunluk tabanlı kümeleme algoritmalarından DBSCAN algoritması (Bilgin ve Çamurcu 2005), düzlemi temsil eden her bir nokta bulutuna uygulanmıştır. DBSCAN algoritması, nesnelerin komşuları ile olan mesafelerini hesaplayarak, belirli bir bölgede önceden belirlenmiş eşik değerden daha fazla nesne bulunan alanları gruplandırarak kümeleme işlemini

gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, çalışmanın bu safhasında DBSCAN algoritması ile LiDAR düzlem noktalarının birbirleri ile olan komşulukları ortaya çıkarılmıştır.

Algoritmanın temel parametreleri şunlardır:

- “*Eps* (ϵ)” parametresi: Bir veri nesnesinin komşularını belirlemek için gerekli olan yakınlık mesafesidir.
- “*MinPts*” parametresi: Bir bölgenin yoğun olarak adlandırılabilmesi için *Eps* (ϵ) parametresi komşuluğunda bulunması gereken en az komşu sayısıdır (Al-Zand 2013).

DBSCAN algoritması ile gürültüleri ayıklamak için birçok deneme yapılmış ve çalışmada kullanılan test alanları için en uygun parametre değerleri Çizelge 2’de verildiği gibi belirlenmiştir. Test_2’de yer alan bir binaya ait nokta bulutu verisi üzerinde yapılan işlem sonucunda düzlemlere ait gürültü noktaları Şekiller 6, 7 ve 8’de gösterilmiştir. Gürültüden ayıklanmış düzlemler ise bir arada Şekil 9’da gösterilmiştir.

Çizelge 2. Test alanlarına uygulanan DBSCAN algoritması parametreleri.

Test_1		Test_2	
MinPts	ϵ	MinPts	ϵ
15	0.7	5	0.4

Şekil 6. Test_2 test alanında yer alan 1 no’lu binaya ait dört düzlemde bulunan gürültü noktaların (daire şeklindeki noktalar) gösterimi.

Şekil 7. Test_2 test alanında yer alan 2 no’lu binaya ait dört düzlemde bulunan gürültü noktaların (daire şeklindeki noktalar) gösterimi.

Şekil 8. Test_2 test alanında yer alan 3 no’lu binaya ait dört düzlemde bulunan gürültü noktalarının (daire şeklindeki noktalar) gösterimi.

Şekil 9. Test_2 test alanında yer alan tüm binaların gürültü ayıklama işlemi sonrası çatı düzlemlerinin bir arada gösterimi.

3.5. Çatı Düzlem Sınırlarının Çıkarılması

Çatı düzlemi sınırlarının çıkarılması için gürültüden arındırılmış olan LiDAR düzlem nokta bulutu verisine MATLAB ortamında “boundary” fonksiyonu uygulanmıştır. Bu fonksiyon, noktalar etrafında iki boyutlu sınırı temsil eden nokta indeksleri vektörünü çalıştırmaktadır. Bu fonksiyon ile dış bükey örtünün (*convex hull*) aksine, sınır noktalarını kaplamak için gövdenin iç tarafına doğru daralma olabilmektedir (Url-2 2018). Bu işlemin uygulanması neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 10’da gösterilmiştir.

Şekil 10. Test_2 test alanında yer alan; a) 1 no’lu bina, b) 2 no’lu bina ve c) 3 no’lu bina çatı düzlemlerine “boundary” sınır fonksiyonunun uygulanması neticesinde elde edilen sonuç görüntüleri.

3.6. Çatı Düzlemi Sınırlarının Sadeleştirilmesi

Bir önceki aşamada “*boundary*” fonksiyonu ile elde edilen sınırı temsil eden noktalara, Douglas-Peucker algoritması (Douglas and Peucker 1973) uygulanmıştır (Schwaghart 2010). Bu algorithma, tekrarlı bir şekilde bir poligondaki köşe sayısını azaltmak için, ilk ve son noktalardan bir çizgi geçirilerek, tüm köşe noktalarından bu çizgiye olan dik mesafeler hesaplanmaktadır. Bu mesafeler belirtilen bir tolerans değerini geçmediğinde, bu düz çizginin tüm satırı basitleştirilmiş formda temsil edilmektedir. Bunun aksi durumda, düz çizgiden en uzun mesafede olan nokta yeni nokta kabul edilerek, yukarıdaki işlem tolerans sınırı karşılanana ve sadeleştirme süreci tamamlanana kadar devam etmektedir (Türker ve Kok, 2013). Test_2 test alanında bulunan binaların sınırlarına uygulanan sınır sadeleştirme işleminin sonuçlarına bir örnek Şekil 11’de gösterilmiştir.

Şekil 11. Test_2 test alanında yer alan; a) 1 no’lu bina, b) 2 no’lu bina ve c) 3 no’lu bina çatı düzlemlerine Douglas- Peucker algoritması uygulanması sonrası elde edilen sonuç görüntüleri.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, RANSAC algoritmasının parametrelerinden olan k parametresi değeri (*algoritma tarafından izin verilen en fazla yineleme sayısı-iterasyon sayısı: k*), Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-w^m)} = \frac{\log(1-0.99)}{\log(1-0.3^3)} \approx 168 \quad (1)$$

Eşitlik 1’de, m düzlem modelini tanımlamak için gerekli minimum nokta sayısını, w modele uygun olan bir noktanın seçilme olasılığını, p başarılı bir işlemin çalışma olasılığını temsil etmektedir (Url-3 2018). p değeri 0,99’da sabit tutularak (Bretar 2008), w değeri deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Yine, RANSAC algoritmasının parametrelerinden olan d (*en fazla nokta sayısı*) parametresi değeri, her iki test alanında yer alan binaların her bir düzlemine ait noktalarının çıkarımında minimum olacak şekilde belirlenmiştir. Bundan dolayı, bu parametre değeri her bir binanın her düzlemi için farklılık göstermektedir. Bu parametre değeri ile düzlemlere ait noktalar tespit edildiğinde, görsel inceleme neticesinde çatı düzlemine yakın sonuçlar veren düzlem noktaları kabul edilmiş ve düzlemsellik özelliği olmayan noktalar ise düzlem dışı noktalar olarak göz ardı edilmiştir. Özetle sistem büyük çatı düzlemlerinin tamamını doğru olarak tespit etmiştir.

Düzlem noktalarının tespitinde kullanılan “*mesafe eşik değeri*” parametresi parametre değeri 10 cm olarak alınmıştır. Bu değer, bu çalışmada bina çatılarından yukarıda bulunan bacalara, çatı pencerelerine vb. ait noktalar ile bina çatılarından aşağıda bulunan duvarlara ait noktaların düzlem noktalarına dahil edilmemesi için, en uygun değer olarak belirlenmiştir. Bir düzlem sınırsız büyüklükte olup uzayda sonu yoktur. RANSAC algoritması ile düzlem noktaları belirlenirken, başlangıçta elde edilen düzleme dahil olmaması beklenen noktalar, düzlemin sınırsız büyüklükte olmasından dolayı, düzlem üzerinde olabilmektedir. Bu noktalar gürültü noktaları olarak tanımlanmaktadır. Düzlem noktalarının doğru bir şekilde tespit edilememesi, sonraki adımlarda elde edilen sonuçları da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Gürültü noktalarının oluşmasına sebep olan bir diğer unsur, “*mesafe eşik değeri*” parametresinin bu çalışmada tüm binalar için tek değer alınmasıdır.

RANSAC algoritmasının sonuçları Test_1 test alanındaki 26 bina için incelendiğinde, 1, 2 ve 3 nolu binalarda çıkarılan düzlemlerinin iyi sonuç verdiği, diğer binalarda (2, 4–26) ise çıkarılan düzlemde olması beklenmeyen noktaların elde edilen düzlemde bulunduğu görülmüştür. Yukarıda bahsedildiği gibi, bir düzlemin sınırsız büyüklükte olmasından dolayı bu tür noktaların olması çalışmada beklenmekteydi. Bu problemin giderilmesi için, RANSAC algoritmasının ileride modifiye edilmesi düşünülmektedir. Test_2 test alanında nokta yoğunluğunun yüksek olması ve ayrıca bina çatı geometrilerinin daha düzgün olması nedeniyle, RANSAC algoritması bu test alanında Test_1 test alanına göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Gürültünün ayıklanması aşamasında, her bir test alanında yer alan tüm binalar için aynı DBSCAN algoritması parametre değerleri kullanılmıştır. Dolayısıyla, bu algoritma, bina sayısının daha fazla olduğu ve nokta yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu Test_1 test alanında, düzlem LiDAR nokta bulutu verisinde gürültü noktalarının otomatik tespitini beklenen başarı ile gerçekleştirememiştir.

Test_1 test alanındaki binalardan 10 nolu binaya ait çatı düzlemlerinde yer alan gürültü noktaları örnek olarak Şekil 12’de gösterilmiştir. Diğer taraftan, benzer şekilde Test_2 test alanında yer alan tüm binalara (3 adet) ait tüm düzlemlerdeki (12 adet) gürültünün ayıklanması için aynı sabit parametre değerinin kullanılması neticesinde ise başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 12. Test_1 test alanındaki 10 no’lu binaya ait çatı düzlemlerinde yer alan gürültü noktalarının DBSCAN algoritması ile tespit edilmesi örneği.

Ayrıca, yüksek nokta yoğunluğuna sahip Test_1 test alanında, RANSAC algoritması ile çıkarılan düzlemlerde düzlem noktaları olarak algoritma tarafından çıkarılamayan çatı üzerindeki bacaların neden olduğu boşluklar ile diğer nedenlerden kaynaklı boşluklar, gürültü noktalarının tespitinde olumsuz sonuçlar vermiştir. Şekil 12’de, Test_1 test alanı 10 no’lu binaya ait çatı düzlemi üzerinde siyah daire ile işaretlemiş alan içinde kalan boşluk bu duruma bir örnek olarak gösterilmiştir. Her bir test alanında bulunan tüm binalar için aynı DBSCAN algoritması parametre değerlerinin kullanılmış olmasından dolayı, bazı binalarda gürültü olmayan noktaların gürültü noktaları, gürültü noktaların ise gürültü olmayan noktalar olarak tespit edilmesine neden olduğu görülmüştür. DBSCAN algoritmasındaki problemlerin en aza indirilmesi için, her bir düzleme ait nokta bulutu verisi için ayrı parametre değerinin belirlenmesi gerekir. Ancak, bu hem yapılan işlemin süresini artıracaktır hem de önerilen yöntemin otomatik olma özelliğini kaybetmesine yol açacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada, kullanılan her iki test alanında yer alan tüm binalar için aynı parametre değerinin kullanılması tercih edilmemiştir.

Her bir binaya ait gürültü noktaları giderilmiş düzlem LiDAR nokta bulutu verisinin en dış noktalarından sınır geçirilerek o binayı temsil eden düzlem sınırları çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra, düzlem sınır noktalarına Douglas-Peucker algoritması uygulanarak sınırların sadeleştirilmesi (düz çizgilerin oluşturulması) yapılmıştır. Özetle bina çatı düzlem sınırlarının çıkarılması ve sadeleştirilmesi işleminde, her bir binaya ait tespit edilen her ayrı çatı düzlemi üzerinde olan noktalar ile çatı düzlemlerinin modellenmesi amaçlanmıştır.

Test_1 alanındaki 26 bina için, modellenmiş çatı düzlemleri sonuçları incelendiklerinde, 1, 3, 7, 8, 10 ve 12 no’lu binalara ait çatı modellerinin doğru şekilde oluşturulduğu görülmüştür. Yine, Test_1 test alanındaki 2, 4, 13, 14, 17 ve 18 no’lu binalar incelendiklerinde, bu binaların çatı düzlemleri modellemelerinin beklenen doğrulukta olmadığı görülmüştür. Yöntem kısmında verilen Test_2 test alanı incelendiğinde, buradaki binalara ait tüm düzlemler için modelleme sonuçlarının oldukça tatmin edici olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Her iki test alanında bina sınıfı, *LAStools* yazılımı sınıflandırma işlemi ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Elde edilen bina sınıfı verisine, *Microsoft Visual Studio* yazılımı ortamında geliştirilen BBB algoritması C++ kodu uygulanarak bina sınıfı kapsamında yer alan her bir binaya ait nokta bulutu verisinin başarılı bir şekilde otomatik ayrılması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan LiDAR nokta bulutu verisi nokta yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı, çatılardaki bacalar üzerine düşen nokta sayısı da artmaktadır. Ancak, RANSAC algoritması bacalara ait noktaları çıkarılan düzlem noktalarına dahil etmemiştir. Bu da düzlem çıkarımında elde edilen sonuçların doğruluğunu artırmıştır. LiDAR verisi nokta yoğunluğunun daha yüksek olmasından ve ayrıca bina çatı geometrilerinin daha düzgün olmasından dolayı, RANSAC algoritması Test_2 test alanında daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu duruma örnek, Test_2 test alanında bulunan binalardan 1, 2 ve 3 no’lu binalar için, sırasıyla Şekiller 3, 4 ve 5’te, Test_1 test alanında bulunan binalardan 3 ve 5 no’lu binalar için, Şekil 13’te gösterilmiştir.

Bazı binalara ait çatı düzlemlerinde başarısız düzlem modellerinin elde edilmesinin ana sebepleri arasında, bina çatı düzlemleri üzerinde boşlukların olması, çıkarılan düzlem noktalarının aynı hizada olmaması, başka bir deyişle düzlem sınırlarının zig-zag’lı yapıda olması ve RANSAC, DBSCAN ve Douglas-Peucker algoritmaları parametre değerleri olarak tek parametre değerlerinin kullanılmış olması yer almaktadır. Elde edilen bazı bina çatı düzlemlerinin beklenen doğrulukta modellenememiş olmasının belkide en önemli nedeni, tespit edilen düzlemlerde noktalar arasında boşlukların bulunmasıdır. Diğer taraftan, RANSAC algoritması ile çıkarılan çatı düzlemleri düzgün bir geometriye sahip olduklarında, sınırların başarılı bir şekilde çıkarıldığı görülmüştür.

Şekil 13. Test_1 test alanında yer alan, a) 3 no'lu bina ve b) 5 no'lu binalara ait RANSAC algoritması ile düzlem çıkarımı gösterimi.

Her iki test alanında “*boundary*” fonksiyonu ve Douglas-Peucker algoritması uygulanarak elde edilen sonuçlar incelendiklerinde, Test_2 test alanında (Şekiller 10 ve 11) elde edilen sonuçların Test_1 test alanında (Şekil 14) elde edilen sonuçlara göre daha başarılı oldukları görülmektedir. Bunun temel sebebi, DBSCAN algoritması parametre değerlerinin daha az sayıda olan (3 adet) bina üzerine uygulanmasından dolayı, gürültü noktalarının daha başarılı bir şekilde tespit edilmesi ve RANSAC algoritmasının bu test alanında daha başarılı sonuçlar vermesidir.

Şekil 14. Test_1 test alanında düzlem sınırlarının çıkarılması ve bu sınırların Douglas-Peucker algoritması ile sadeleştirilmesi. a) Başarılı çatı modeline bir örnek (7 no'lu bina). b) Kısmen başarılı çatı modeline bir örnek (14 no'lu bina).

KAYNAKLAR

- Al-Zand, H. A. R., 2013.** Bölümleyici Kümeleme Algoritmalarının Farklı Veri Yoğunluklarında Karşılaştırması. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara. 107 sayfa.
- Bilgin, T. T. ve Çamurcu, Y., 2005.** DBSCAN, OPTICS ve K-Means Kümeleme Algoritmalarının Uygulamalı Karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 8(2):139–145.
- Bretar, F., 2008.** Feature Extraction from LiDAR Data in Urban Areas. Shan, J., Toth C. K. (Ed.), *Topographic Laser Ranging And Scanning Principles And Processing*, CRC Press Taylor & Francis Group. Syf: 403-418.
- Canaz, S., Karsli, F., Guneroglu A. ve Dihkan, M., 2015.** Lidar Verileri Kullanılarak Göl Sınırlarının Otomatik Olarak Belirlenmesi, *TUFUAB III. Teknik Sempozyumu*, Konya, syf: 287–293.
- Çömert, R. ve Avdan, U., 2014.** Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinden Basit Geometrik Yüzeylerin Otomatik Olarak Çıkarılması, *5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, İstanbul.
- Demir, N., 2016.** Lidar Verisinden Çatı Düzlemlerinin Otomatik Çıkarılması, *6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, Adana, syf: 133-138.
- Dorning, P. ve Nothegger, C., 2007.** 3D Segmentation of Unstructured Point Clouds for Building Modelling, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Munich, 36-3/W49A, syf: 191–196.
- Douglas, D.H. ve Peucker, T.K., 1973.** Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10(2): 112–122.
- Fan, Y., Wang, M., Geng, N., He, D., Chang, J. ve Zhang, J. J., 2018.** A Self-Adaptive Segmentation Method for a Point Cloud. *Visual Computer*, 34(5): 659–673.
- Karsli, F. ve Pfeifer, N., 2012.** Ransac Algortiması İle Lidar Verilerinden Otomatik Detay Çıkarımı, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Zonguldak.
- Kayi, A., Erdoğan, M. ve Eker, O., 2015.** OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS- Q1560 ile Gerçekleştirilen LİDAR Test Sonuçları. *Harita Dergisi*, 153: 42–46.
- Morgan, M. ve Tempfli, K., 2000.** Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, XXXIII-B3, syf:616–623.
- Schwanghart, W. 2010.** <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/36229-douglas-peucker-function> [Erişim tarihi: 21.07.2018]
- Turker, M. ve Kok, E. H., 2013.** Field-Based Sub-Boundary Extraction from Remote Sensing Imagery Using Perceptual Grouping. *ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensing*, 79:106–121.
- Vosselman, G. ve Dijkman, S., 2001.** 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Annapolis, Maryland, XXXIV-3/W4, syf: 37-43.
- Wei, S., 2008.** Building Boundary Extraction Base on Lidar Point Clouds Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, XXXVII-B3b, syf:157–161.
- Zaman, T., 2011.** 3D RANSAC (get planes from point clouds). <http://www.timzaman.com/2011/03/3d-ransac-planaire-oppervlakken-uit-puntwolken/> [Erişim tarihi: 21.07.2018]
- Url-1,** http://pointclouds.org/documentation/tutorials/region_growing_segmentation.php [Erişim tarihi: Haziran 2018]
- Url-2,** <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/boundary.html> [Erişim tarihi: 21.07.2018]
- Url-3,** <http://www.math-info.univparis5.fr/~lomn/Cours/CV/SeqVideo/Material/RANSAC-tutorial.pdf> [Erişim tarihi: Haziran 2018]