

[1066]

LIDAR VERİSİNDEN ÇATI DÜZLEMLERİNİN OTOMATİK ÇIKARILMASI

Nusret DEMİR

Yrd.Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü,
Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi,07058, Antalya, nusretdemir@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada LIDAR verisinden otomatik çıkarılan binalara ait nokta bulutların bölütleme işlemi sonrası çatı düzlemlerinin otomatik elde edilmesi amaçlanmıştır. Bölütleme için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Ancak, RANSAC algoritmasının kullanılan parametrelere yüksek hassasiyet göstermesi ve sonuçların çoğunlukla fazla bölütleme ya da az bölütleme meydana getirmesi nedeniyle, iyileştirme algoritması geliştirilmiştir. Bu iyileştirme algoritmasına göre benzer çatı düzlemleri birleştirilmiş, daha sonra bölge genişletme algoritması ile de aynı parametrelere sahip ancak ayrıık olan çatı düzlemlerinin doğru şekilde tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Daha sonra çatı düzlemlerinin sınırları alpha-shapes algoritması ile elde edilmiştir. Doğruluk analizi olarak referans vektör veri ile karşılaştırılarak, modellenen çatı düzlemlerinin üç farklı kritere göre kalite değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: LIDAR, 3 Boyutlu Modelleme, nokta bulutu, hesabi geometri

ABSTRACT

AUTOMATED EXTRACTION OF ROOF PLANES FROM LIDAR DATA

In this study, the extraction of roof surfaces is aimed by following the segmentation of the detected buildings from LIDAR data. RANSAC algorithm is used for the segmentation. Since RANSAC algorithm is parameter sensitive and mostly produces under and over-segmented regions, a refinement algorithm is developed. Use of developed refinement algorithm eliminates the segmentation problems, and then region growing method is applied to split the roof surfaces which have same roof plane parameters. The boundaries of roof planes are extracted using alpha-shapes algorithm. For the quality assesment, the detected roof planes are compared with the manually created reference dataset for three different criteria.

Keywords: LIDAR, 3D Modelling, point cloud, computational geometry

1.GİRİŞ

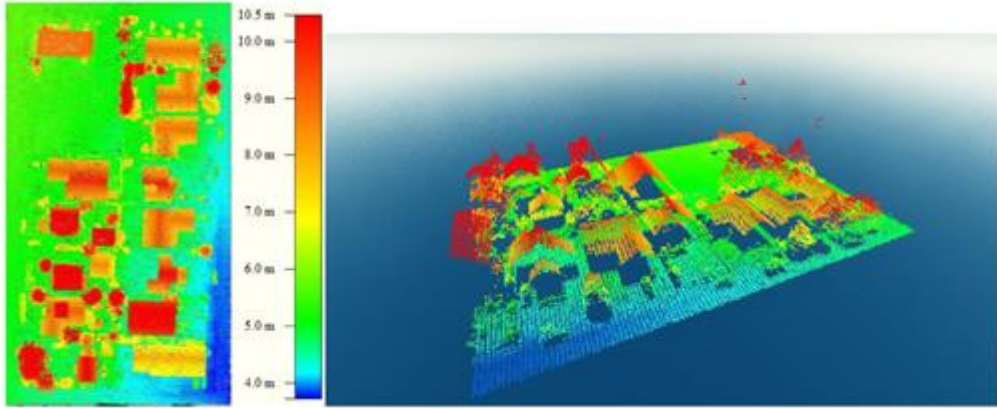
Bu çalışmada LIDAR verilerinden tespit edilen binaların üç boyutlu çatı modellemesi incelenmiştir. Binalar 3B şehir modelleri, karar destek sistemleri, kamu kurumları, iletişim ve afet yönetiminde önemli bir coğrafi nesnelere sahiptir. Sıklıkla da 3B bina coğrafi verileri mevcut değildir ya da güncel olmayabilir. Bu nedenle, hızlı ve doğru çalışan yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. LIDAR verisi de doğrudan üç boyutlu veri sağladığından önemli bir veri kaynağıdır. Literatürde sadece görüntü, sadece LIDAR ya da her iki verinin de kullanıldığı örnekler mevcuttur. Sadece görüntü verisi kullanarak (Henricsson ve Baltsavias, 1997; Baillard vd., 1999; Brenner ve Haala, 1998; Kada ve McKinley, 2009), bazıları sadece LIDAR kullanarak (Maas ve Vosselman, 1999; Rottensteiner, 2010; Elberink ve Vosselman, 2009; Dorninger ve Pfeifer, 2008), bazıları da hem görüntü hem de LIDAR verisinin bütünleşik kullanılması ile bina modelleme yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Demir ve Baltsavias (2012) ve Demir (2015) çalışmalarında ele alınan LIDAR ve görüntü verilerinden üç boyutlu çatı düzlemlerinin çıkarılması yöntemi, sadece LIDAR verisi kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışma bir yükseklik eşik değeri kullanılarak tespit edilen binaların, çatı düzlemlerinin bölütleme ile tespiti ve sonuçların iyileştirilerek, bölütlenmiş nokta bulutlarından otomatik olarak çatı düzlemlerinin modellenmesini içermektedir. Ayrıca geliştirilen kalite analizi yöntemi de, tamlik, doğruluk, çatı köşelerinde kayıklık ve düzlemler arası fark kriterlerine göre, operatör tarafından oluşturulan çatı düzlemleri ile karşılaştırma yaparak doğruluk değerlerini vermektedir.

2.KULLANILAN VERİ

Kullanılan veri opentopography.org sayfasından ücretsiz temin edilebilen, Oregon Jeoloji ve mineral endüstrisi departmanı, LIDAR veri toplama birimi tarafından üretilen ham nokta bulutu verisidir. Metrekare de 4 nokta yoğunluğuna sahiptir. Sadece x, y, z koordinatlarını içermektedir. Şekil 1'de verinin yükseklik değerlerine göre

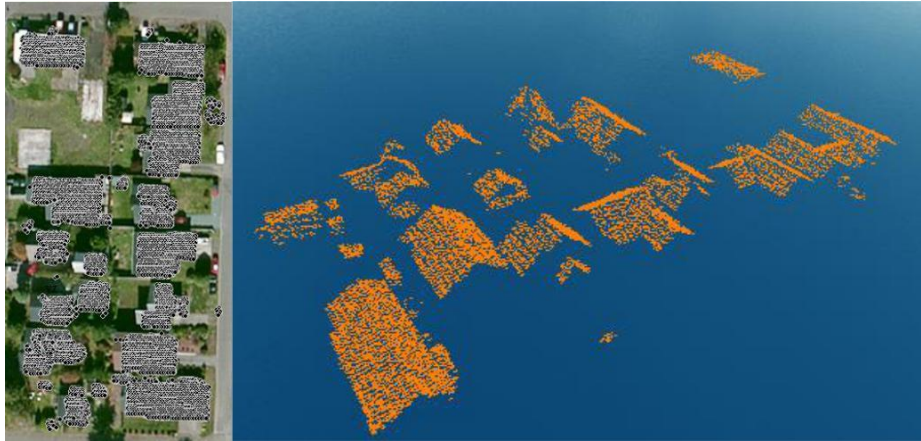
renklendirilmiş hali görülebilir.



Şekil 1. Yüksekliklere göre renklendirilmiş LIDAR nokta bulutu(sol), 3B Gösterim(sağ)

3.YÖNTEM

Test alanı eğimi az olduğundan, yer üstü nesnelere doğrudan yükseklik eşik değeri ile tespit edilebilmiştir (Şekil 2). Bunun için göre keyfi seçilen 7 m eşik değerine göre tüm arazi üstü nesnelere çıkarılmıştır. Bu nesnelere bina, çalılık ve ağaç nesnelere dir. Arazi üstü nesnelere tespit edildikten sonra, her bir nesne üzerinde düzlemlere tespit edilmiştir. Üzerinde hiçbir düzlem tespit edilemeyen nesnelere de bina dışı nesne olarak ayrılıp, elenmiştir. Bunlar çalılık ve ağaç nesnelere dir. Daha sonra meydana gelen bölütleme hatalarını gidermek için iyileşme algoritması geliştirilmiştir.



Şekil 2. Tespit edilen bina LIDAR noktaları (sol: ortogörüntü üzerinde bina noktaları, sağ: 3B Gösterim)

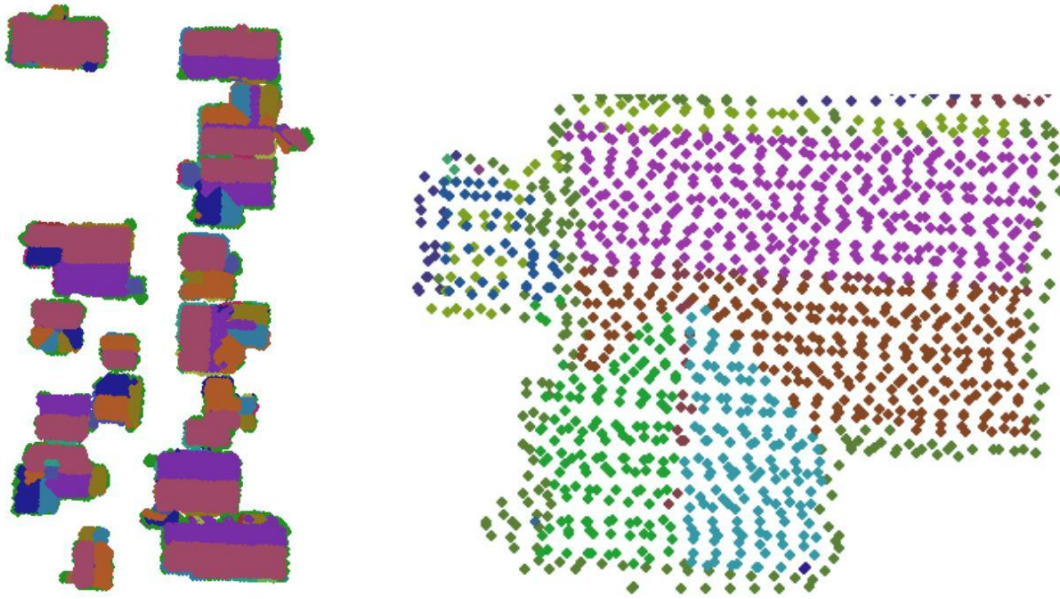
3.1. Düzlemlerin Tespiti

LIDAR verisinden düzlemlerin tespit edilmeden önce, çıkarılan binalara genişletme işlemi uygulanarak herhangi bir binaya ait LIDAR noktasının atlanmaması için genişletme işlemi uygulanmıştır. Burada bu genişletme işlemi için 2 m. eşik değeri olarak kullanılmıştır.

Daha sonra her bir noktanın bir düzleme ait olduğu öngörülerek, normal vektörleri hesaplanmıştır. Bu arada, hesaplanacak düzlem için belirleyici bir parametre, en küçük çatı elemanı boyutunu tespit edilmesini sağlayan komşu nokta sayısıdır. Komşu nokta sayısı, minimum tespit edilecek düzlem boyutunun metre karedeki nokta sayısı ile bulunabilir. Burada, hesaplanacak en küçük düzlem boyutu 5 m^2 olarak belirlenmiştir ve elde edilen verinin de nokta yoğunluğu da metre karede 4 nokta olarak verilmiştir. Böylece komşu nokta sayısı P 20 olarak hesaplandı. Düzlem parametreleri a,b,c her bir nokta için ayrı ayrı hesaplandı.

Normal vektörlerinin hesabından sonra, düzlemlerin tespiti için RANSAC algoritması kullanıldı. Burada her bir iterasyonda, maksimum skora sahip düzlemler tespit edilmiştir. RANSAC algoritmasında aday düzlemlerin tespitinde kullanılan aralık eşik değeri 40 cm dir. Daha önceden hesaplanan yüzey normali vektörü, tespit edilen aday düzlem arasındaki açı ile noktaların ilgili düzleme atanmasında kullanılmıştır. Burada, bu açı değeri 10 derece olarak belirlenmiştir. Diğer bir kriter de, yine yüzey normal vektörü hesabında kullanılan en az nokta sayısıdır.

Burada da 20 nokta olarak belirlenmiştir. Bu kriterlere göre tespit edilen düzlemler Şekil 3’de görülebilir.



Şekil 3. Tespit edilen düzlemler (sol: genel görünüş, sağ: alt segmentasyon hatalarına sahip düzlemler)

3.2. Düzlem Tespiti İyileştirilmesi

RANSAC algoritması ile tespit edilen düzlemlerde üst ve alt bölütleme hatalarından dolayı bir iyileştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. İyileştirme işlemi iki aşamadan oluşur. Birinci aşama, her bir noktanın daha uygun bir düzleme atanması, daha sonra bölge genişletme ile alt bölütleme hatalarının ortadan kaldırılması. Bu işlemler öncelikle her bir noktanın, bina üzerinde bulunan her bir düzleme mesafesinin (D) hesaplanmasıyla başlamaktadır.

$$D = (ax_0 + by_0 + cz_0) / \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \quad (1)$$

a, b, c düzlem parametreleri olup, x_0, y_0, z_0 ise noktanın koordinatlarıdır.

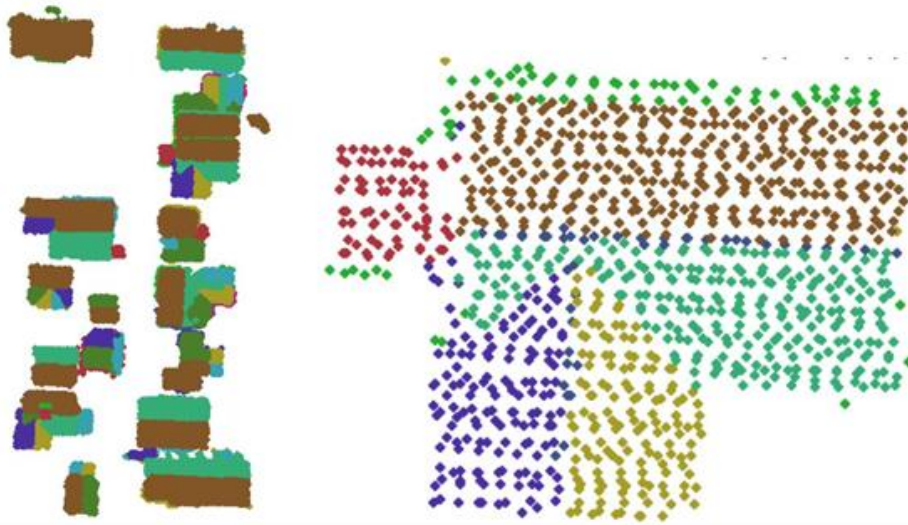
İşlem her bir noktanın, ilgili binadaki her bir tespit edilen düzleme olan mesafesinin hesaplanması ile başlamaktadır.

Bu işlem aşağıdaki formül uyarınca;

$$\text{if } (N_b > N_a \ \& \ |D_a - D_b| < \sigma \ \text{and } \gamma < \alpha) \quad (2)$$

P noktası bina üzerindeki herhangi bir LIDAR noktası olsun, A da atandığı ilk düzlem, B ise aynı binaya ait herhangi bir düzlemdir. Bu durumda (2) numaralı koşul uygulanarak P noktasının A düzlemine olan atanması, B düzlemine değiştirilmektedir. Burada D_a P noktasının A düzlemine olan mesafesi, D_b P noktasının B düzlemine olan mesafesi, σ LIDAR verisinin konum hatasıdır. Bu koşula göre P noktasının B düzlemine olan mesafesi A düzlemine olan mesafesinden daha küçükse ve D_a ve D_b değerlerinin mutlak farkı konum hatadan küçükse, ayrıca A ve B düzlemleri arasındaki açı, RANSAC algoritması ile düzlem tespitinde kullanılan açıdan küçükse bu durumda, P noktasının A düzlemi olan atanması B düzlemi olarak değiştirilmektedir.

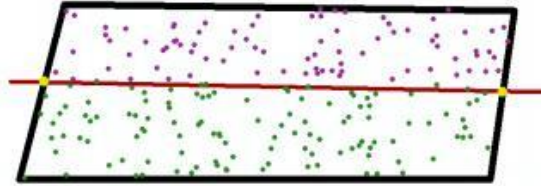
Alt bölütleme hatasını ortadan kaldırmak için bölge genişletme işlemi uygulanmıştır. Alt bölütleme problemi geometrik olarak komşu olmayan aynı binaya ait, tek bir düzlem olarak tespit edilmiş düzlemlerle ilgili bir hatadır. Bunun üstesinden gelmek için bölge genişletme işlemi uygulanmıştır. Buna göre herhangi bir düzlemde her bir noktadan başlayarak tüm komşu noktalar yeni bir düzleme atanmışlardır. Şekil 4’de iyileştirilmiş düzlem tespit sonucu görülebilmektedir.



Şekil 4. İyileştirilen düzlemler (sol), iyileştirme işleminden sonra örnek binada düzleme atanmış noktalar

3.3. İç Çatı Çizgisi Çıkarımı

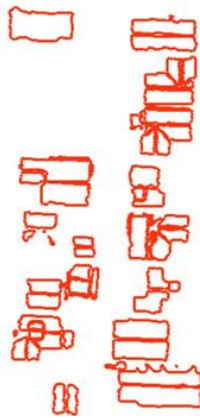
Çatı düzlemleri arasındaki iç çizgiler, düzlemlerin kesişimi ile oluşturulmuştur. Geometrik olarak iki düzlemin kesişimi çizgi verir. Ancak bu üretilen çizgi sonsuza gitmekte ve başlangıç ve bitiş noktası belli olmamaktadır. Başlangıç ve bitiş noktalarının hesaplanması için öncelikle komşu düzlemlere ait LIDAR noktaları seçilmektedir. Daha sonra bu seçilen LIDAR noktalarından bir en küçük kapsayan dikdörtgenler prizması üretilmektedir. Bu prizma içinde bulunan düzlemlerin kesişimi ile hesaplanmış sonsuz doğru, oluşturulan prizma ile kesiştirilir. Böylece bu çizgilerin başlangıç ve bitişleri de hesaplanmış olur.



Şekil 5. İç çizgi çıkarımı gösterimi (düzlem noktaları pembe ve yeşil, i. Çatı çizgisi kırmızı, kapsayan dikdörtgen siyah, çizginin sınır noktaları sarı (Demir, 2013).

3.4. Çatı Modellemesi

Çatı düzlemlerinin sınırlarının modellenmesi için Alpha-Shapes algoritması (Edelsbrunner ve Mücke, 1994) kullanılmıştır. Bu algoritma ile çatı düzlemleri iç bükey ya da dış bükey olmalarından bağımsız olarak modellenmektedir. Çatı düzlemlerine atanan LIDAR noktaları çatı modellemesinde kullanılmıştır. Ayrıca üretilen iç çizgiler de sık aralıklı nokta verisine çevrilmiş ve orijinal noktalardan komşu olanlar silinmiştir. İç çizgiler dahil edilmeden önce elde edilen çatı sınırları aşağıdaki şekil 6'a görülebilir.



Şekil 6. İç çizgiler dahil edilmeden önce elde edilen çatı sınırları

3.5. Model İyileştirmesi

Buradaki ana fikir, çatı sınırlarından geçen düzgün çizgilerin oluşturulmasıdır. Çünkü LIDAR noktalarının seyrek olmasından dolayı, alpha-shapes ile oluşturulan çizgiler düzgün olmamaktadır (zig-zag, pürüzlü vb.). Bu yüzden alpha-shapes ile oluşturulan çizgilerin ayrıca iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için, her bir çatı düzleminin sınırlarını oluşturan noktalar RANSAC algoritması ile düzgün bir çizgiye dönüştürülmüştür. Daha sonra oluşturulan çizgilerin birbirleriyle kesişimi ile noktalar üretilmiştir. Bu oluşturulan noktalar ardışık olarak birbirleriyle birleştirilerek iyileştirilmiş çatı modelleri oluşturulmuştur. Bu noktalardan orijinal LIDAR noktalarına yakın olanlar seçilerek Çatı düzlem sınırları oluşturulmuştur.

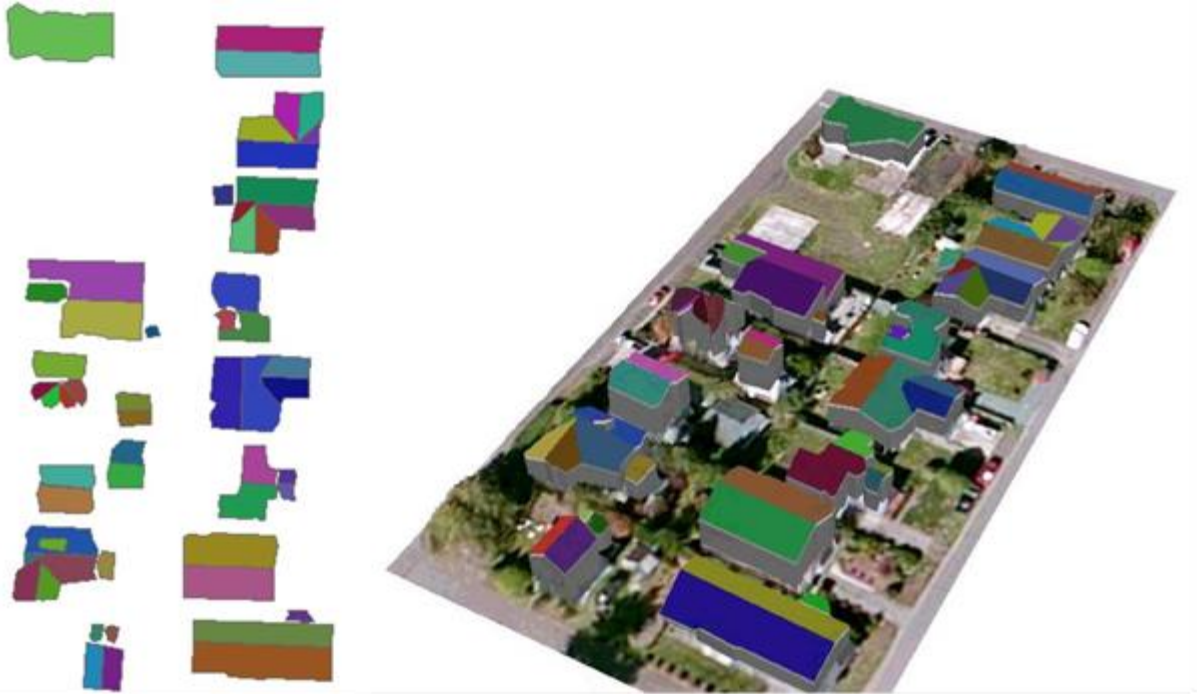
Oluşturulan noktaların x, y, z koordinatları aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilmektedir.

$$x = \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(x_3 - x_4) - (x_1 - x_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \quad (3)$$

$$y = \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \quad (4)$$

$$z = -\frac{d + ax + by}{c} \quad (5)$$

Burada (x1, y1) ile (x2, y2) ilk çizginin başlangıç ve bitiş nokta koordinatları, (x3, y3) ve (x4, y4) ikinci çizginin başlangıç ve bitiş koordinatları ve a, b, c, d ilgili düzlemin parametreleridir. Elde edilen sonuç çatı modelleri Şekil 7'de görülebilmektedir.



Şekil 7. İyileştirilmiş çatı modelleri, sağda 3B Gösterim

3.6. Kalite Analizi

Kalite analizi hem düzlem tespiti için hem de çatı modellemesi için gerçekleştirilmiştir. Dört kriter düzlem tespiti için, beş kriter de çatı modellemesi için belirlenmiştir. Referans olarak kullanılan vektör veri elle çizim ile oluşturulmuştur. Referans veriye R, modellenen çatıya M dersek, tutarlılık ölçütü olarak $(R \cap M)/(R \cup M)$ oranı kullanılmıştır. Doğruluk $(R \cap M)/M$ ile hesaplanırken, tamlık değeri $(R \cap M)/R$ ile hesaplanmıştır. Ayrıca referans düzlem ile modellenen düzlem arasındaki mutlak ortalama fark ve köşe noktalarındaki kayma miktarları da ayrıca hesaplanmıştır.

Tablo 1’de, hesaplanan kalite değerleri görülebilmektedir.

Tablo 1. Kalite değerleri

	Ortalama	Medyan
Tutarlılık (%)	70.92	76.79
Doğruluk (%)	85.46	92,32
Tamlık (%)	77.46	86.59

4.SONUÇLAR

Bu çalışma ile çatı düzlemleri LIDAR noktalarından otomatik olarak tespit edilmiş ve modellenmiştir. Geliştirilen yöntem model tabanlı olmayıp, doğrudan veriden model oluşturmaktadır, bu da herhangi bir model kütüphanesi kısıtlaması olmaksızın her türlü düzlem çatının modellenmesi ve tespitini mümkün kılmaktadır. Ancak veri kalitesi, sonuçlara doğrudan etki etmektedir. Çalışma ayrıca eşik değer parametrelerine ihtiyaç duymaktadır ve bu parametreler olabildiğince veri ve sonuçlara bağlı olarak, keyfi seçimi yönlendirmesi amaçlanarak seçilmişlerdir. Geliştirilen yöntem, görüntü verisinin de olduğu durumlarda, özellikle görüntülerden elde edilmiş üç boyutlu çizgilerin dahil edilmesiyle daha kaliteli sonuçlar üretebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Baillard, C., Schmid, C., Zisserman, A., Fitzgibbon, A.,** 1999. Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views. IAPRS, Vol. 32, Part 3-2W5, pp. 69- 80.
- Brenner, C., Haala, N.,** 1998. Rapid acquisition of virtual reality city models from multiple data sources. IAPRS, Vol. 32, Part 5, pp. 323-330.
- Dorninger, P., Pfeifer, N.,** 2008. A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds. Sensors 8(11): 7323 -7343.
- Demir N., Baltsavias E.,** 2012., Automated Modeling Of 3d Building Roofs Using Lidar And Image Data, International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol.1, no.4, pp.35-40
- Demir N.,** 2015. Use of Airborne Laser Scanning Data and Image-based Three-dimensional (3-D) Edges for Automated Planar Roof Reconstruction, Lasers In Engineering, vol.32, pp.173-205, 2015
- Edelsbrunner, H., Mücke. E. P.,** 1994. Three- dimensional alpha shapes. ACM Trans. Graph. 13(1): 43-72.
- Elberink, S.O., Vosselman, G.,** 2009. Building reconstruction by target based graph matching on incomplete laser data: analysis and limitations. Sensors 9(8): 6101-6118.
- Henricsson, O., Baltsavias, E.,** 1997, 3-D building reconstruction with ARUBA: A qualitative and quantitative evaluation. In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhauser, Basel, pp. 65-76.
- Kada, M., McKinley, L.,** 2009. 3D building reconstruction from LiDAR based on a cell decomposition approach. IAPRS, Vol. 38, Part 3/W4, pp. 47-52
- Maas, H.-G., Vosselman, G.,** 1999. Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54(2-3): 153-163.
- Rottensteiner, F.,** 2010. Roof plane segmentation by combining multiple images and point clouds. IAPRS, Vol. 38, Part 3A, pp. 245- 250.