

[963]

# HAVA LİDAR VERİLERİ İLE 3B BİNA MODELLERİNİN OTOMATİK ÜRETİMİ

Naci YASTIKLI<sup>1</sup>, Zehra Çetin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr., Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34210, Esenler, İstanbul, [ynaci@yildiz.edu.tr](mailto:ynaci@yildiz.edu.tr), [zerisir@yildiz.edu.tr](mailto:zerisir@yildiz.edu.tr)

## ÖZET

Hava LiDAR sistemleri ile yer yüzeyi üzerindeki bitki örtüsü ve insan yapısı objelere ait nokta bulutu yüksek doğrulukla ve hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Son yıllarda hava LiDAR sistemlerinin nokta yoğunluğu ve doğruluğu artmış ve bu sistemler birçok uygulamada sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Hava LiDAR verileri günümüzde obje çıkarımı, 3 boyutlu kent modeli üretimi, değişim belirleme, haritaların revize edilmesi gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. 3 boyutlu (3B) bina modelleme işlemi yerleşim alanlarındaki planlama, kaçak yapılaşmanın takibi ve 3 boyutlu kent modeli üretimi vb. çalışmalarında önemli bir iş adıdır. 3B bina modelleme çalışmalarında oluşturulan bina modelinin basit ve hızlı bir şekilde otomatik olarak üretilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada basit 3 boyutlu bina modellerinin hava LiDAR verileri ile otomatik üretimi olanakları araştırılmış ve 3B otomatik bina modelinin üretimine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşaması hava LiDAR verilerinin otomatik olarak sınıflandırılmasıdır. Sınıflandırma aşamasında, 3B bina modellerinin daha doğru bir şekilde üretilmesi amacıyla ham LiDAR verilerinin doğrudan kullanıldığı nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edilmiştir. Hava LiDAR verilerinin otomatik olarak sınıflandırılabilmesi için hiyerarşik kurallar bütününden oluşan nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımı oluşturulmuştur. 3B bina modelinin otomatik üretilmesine ilişkin önerilen yaklaşım İstanbul, Zekeriyaköy'de bulunan çalışma alanına ait LiDAR verileri kullanılarak test edilmiştir. Çalışma alanında belirlenen farklı test bölgeleri kullanılarak otomatik nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımındaki kurallara ilişkin parametre analizleri gerçekleştirilmiştir. Önerilen otomatik nokta tabanlı sınıflandırma işlemi uygulanarak hava LiDAR sistemi ile elde edilen noktalar yer yüzeyi, bina ve bitki örtüsü olmak üzere üç temel sınıfta toplanmıştır. Çalışma alanındaki binalara ilişkin 3B bina modelleri bina sınıfında bulunan noktalar kullanılarak otomatik üretilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** 3B modelleme, LiDAR, nokta tabanlı sınıflandırma, sınıflandırma

## ABSTRACT

### AUTOMATIC 3D BUILDING MODEL GENERATIONS WITH AIRBORNE LIDAR DATA

The point cloud of vegetation and man-made objects on the earth surface are acquired accurately and quickly with airborne LiDAR systems. In recent years, point density and accuracy of airborne LiDAR systems are increased, and these systems have been used frequently in various applications. Nowadays, airborne LiDAR data is used in numerous applications such as object extraction, 3 dimensional (3D) city modelling, change detection and revision of maps. 3 dimensional (3D) building modelling process is an important step in planning in the residential areas, illegal construction monitoring, and 3D city modelling, etc. In 3D building modeling studies, automatic building model generation in a simple and quick way is very important. In this study, automatic simple 3 dimensional building models generation possibilities with airborne LiDAR data is investigated, and an approach for automatic generation of the 3D building model is proposed. The automatic classification of airborne LiDAR data is the first step of the proposed approach. In classification step, point based classification method, which directly use raw LiDAR data, was preferred in order to produce 3D building models more accurately. The point based classification approach consist of hierarchical rules has been created for automatic classification of airborne LiDAR data. The proposed approach for the automatic production of 3D building models have been tested using LiDAR data in the study area, in Zekeriyakoy, Istanbul. The parameter analyses for the rules on automatic point based classification approach have been performed using different test areas identified in the study area. The points obtained with airborne LiDAR are classified into three main classes including ground, building and vegetation using the proposed automatic point based classification. 3D building models of the buildings in the study is acquired automatically using points which belong to the building class.

**Keywords:** 3D modelling, LiDAR, point based classification, classification

## 1.GİRİŞ

Hava LiDAR sistemleri, lazer tarayıcı, küresel konumlama sistemi (GPS) ve ataletsel navigasyon sistemi (INS) birleşiminden oluşan, geniş alanlarda 3 boyutlu (3B) veri toplamaya imkân sağlayan en etkili sistemlerden biridir. Hava LiDAR sistemleri ile gerçekleştirilen taramalar sayesinde yer yüzeyi üzerindeki bitki örtüsü ve insan yapısı objelerin 3B koordinatları doğrudan ölçülür ve sonuçta yoğun nokta bulutları elde edilir (Vosselman, 2009). Veri toplamada yüksek düzeyde otomasyon ve toplanan 3 boyutlu verilerin doğruluğu ve yoğunluğu hava LiDAR sistemlerini tercih edilen bir teknoloji haline getirmiştir (Forlani vd., 2006). Hava LiDAR günümüzde, topografik harita üretimi, bitki örtüsü haritalarının yapımı (orman alanları, yaylalar vb.), koridor haritalarının üretimi

(yollar, demiryolları, elektrik hatları vb.), haritaların revize edilmesi, mühendislik çalışmaları (hacim hesaplamaları vb.) ve kıyı mühendisliği ve yönetimi gibi birçok uygulamada yaygın kullanıma sahiptir (Sithole, 2005). LiDAR sistemi, yoğun yerleşim alanları, ormanlık alanlar, elektrik hatları vb. gibi ölçülmesi zor, hatta imkânsız olan objelerin ölçümünde ön plana çıkmaktadır (Axelsson, 1999). Genellikle hava LiDAR kullanımı ile ilgili araştırmalar, Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretimi (Kraus ve Pfeifer, 2001; Vosselman, 2000), 3 boyutlu bina modelleme (Maas ve Vosselman, 1999; Rottensteiner, 2003; Brenner, 2005; Oude Elberink ve Vosselman, 2009; Pu ve Vosselman, 2009) ve değişim belirleme (Matikainen vd., 2003; Vosselman vd., 2004; Hommel, 2009; Champion vd., 2009) olmak üzere üç temel uygulama üzerine yoğunlaşmıştır.

Son on yıllarda, 3B kent modellerinin ağırlıklı olarak görselleştirmede kullanıldığı görülmüştür ancak bugün 3B kent modellerinden görselleştirmenin yanında, kentsel planlama ve kalkınma, tesis yönetimi, lojistik, güvenlik, telekomünikasyon, afet yönetimi, konum tabanlı hizmetler ve gayrimenkul portallarının yanı sıra kent ile ilgili eğlence ve eğitim hizmetleri gibi bir dizi farklı alanda yararlanılmaktadır (Biljecki vd., 2015; Döllner vd., 2006). 3B kent modelleme çalışmaları için oluşturulan 3B bina modellerinin manuel ya da yarı otomatik yöntemlerle üretilmesi çok zaman alıcıdır. 3B bina modellerinin basit ve hızlı bir şekilde otomatik olarak üretilmesi günümüzde oldukça önemli hale gelmiştir. Otomatik bina çıkarımı, proje planlama, nüfus değişimi analizleri ve kentsel alanlarda yasadışı konutları izleme ve yasadışı konutların önlenmesi gibi birçok uygulama için yararlıdır (Uzar ve Yastikli, 2013). Güncel araştırma konularından bir tanesi olan otomatik bina çıkarımında LiDAR nokta bulutu verisi yöntemin başarısını artırmaktadır (Oude Elberink ve Vosselman, 2009; Uzar Dinlemek, 2012). LiDAR veri işleme aşamaları da 3 boyutlu bina üretimi uygulamaları için büyük önem taşımaktadır.

LiDAR nokta bulutunun sınıflandırılması, 3B kent modelleme, bina çıkarımı, SYM üretimi gibi uygulamalarda LiDAR veri işleme aşamalarının ilk adımıdır. Bu nedenle, bu tür çalışmalarda yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmek için LiDAR nokta bulutunun doğru bir şekilde sınıflandırılmasına ihtiyaç vardır (Charaniya vd., 2004). LiDAR nokta bulutu sınıflandırılmasında, LiDAR verisinin özelliklerine göre her nokta zemin, bitki örtüsü, bina gibi anlamlı sınıflara atanır (Yastikli ve Cetin, 2016). LiDAR nokta bulutu sınıflandırılması, düzenli dağılmış (gride enterpole edilmiş) ya da düzensiz dağılmış (ham) LiDAR verisi kullanılarak gerçekleştirilir. Klasik görüntü sınıflandırma yöntemlerinin kullanılabilirliğinden dolayı sıklıkla, LiDAR verisi önce gride enterpole edilir (Zhou, 2013; Bao vd., 2008). Fakat nokta bulutu verisi düzenli grid yapıya örneklediğinde orjinal düzensiz nokta bulutundaki bazı bilgiler kaybolur. Özellikle orman alanlarında, veri toplama aşamasında çoklu dönüşlerin de kaydedildiği durumlarda, benzer XY koordinatına sahip fakat farklı yükseklikteki noktaların düzenli grid yapıda temsil edilmesi zor olduğundan veri kaybı önemli olabilir (Axelsson, 1999). Bu nedenle, enterpolasyondan kaynaklanan istenmeyen etkilerden kurtulmak için LiDAR nokta bulutu, ham olarak sınıflandırma aşamasında kullanılır (Maas ve Vosselman, 1999).

Bu çalışmada, basit 3 boyutlu bina modellerinin hava LiDAR verileri ile otomatik üretim olanakları araştırılmış ve 3B otomatik bina modeli üretimine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşaması ham (işlenmemiş) hava LiDAR nokta bulutu verilerinin sınıflandırılmasıdır. Gride enterpolasyon sırasında yaşanabilecek veri kayıplarını önlemek amacıyla nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılarak İstanbul'da Zekeriyaköy bölgesindeki çalışma alanına ait LiDAR verileri otomatik olarak, diğer bir ifade ile kullanıcı müdahalesi olmadan sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda zemin, bina, bitki örtüsü sınıfları elde edilmiştir. Elde edilen bina sınıfı kullanılarak yine otomatik olarak 3 boyutlu basit bina modelleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, ikinci bölümde ham nokta bulutunun sınıflandırılması ve 3 boyutlu bina modellerinin otomatik olarak oluşturulması için önerilen yöntemin detaylarına yer verilmiştir. Çalışma alanı ve kullanılan veriler, ham nokta bulutunun sınıflandırılması ve elde edilen bina sınıfı kullanılarak bina modellerinin oluşturulmasına ilişkin deneysel çalışmalar üçüncü bölümde, sonuç ve öneriler ise dördüncü bölümde yer almaktadır.

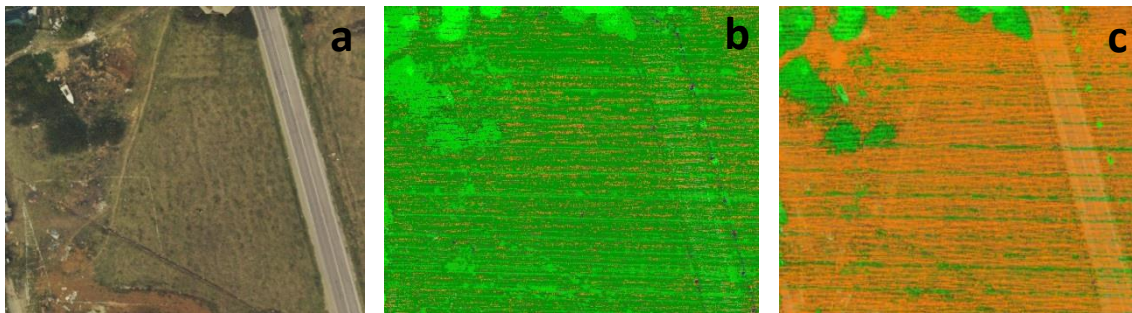
## 2. YÖNTEM

Hava LiDAR verileri ile 3B bina modeli üretimi için öncelikle LiDAR verilerinin bina sınıfını içerecek şekilde sınıflandırılması kritik öneme sahiptir. Sınıflandırma aşamasında düzensiz dağılmış nokta bulutundaki her bir 3 boyutlu nokta semantik bir obje sınıfına atanır (Niemeyer vd., 2014; Charaniya vd., 2004). LiDAR nokta bulutundaki tüm noktaların özellikleri (features) otomatik nokta tabanlı sınıflandırma uygulamalarında kullanılır (Kim ve Sohn, 2010; Mallet vd., 2011; Kim ve Sohn, 2013). Nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarında kullanılan bu özelliklerin uygun parametreleri sınıflandırma sonucunda hedeflenen sınıflara göre genellikle eğitim aşamaları sonucunda belirlenir (Yastikli ve Cetin, 2016). Sınıflandırma algoritmalarının temelini oluşturan özellikler, geometrik (spatial-based) özellikler (nokta yüksekliği veya nokta komşuluğunun geometrik tanımına (özdeğer veya yüzey özellikleri) dayanan mekânsal faktörler vb.), dönüş tabanlı (echo-based) özellikler (dönüş sayısı vb.) ve sadece tam dalga boyu kaydeden LiDAR verilerinden hesaplanan dalga formuna dayanan (waveform-based) özellikler olarak gruplandırılabilirler (Mallet vd., 2011). Yerel çevre (the local environment), yükseklik (height

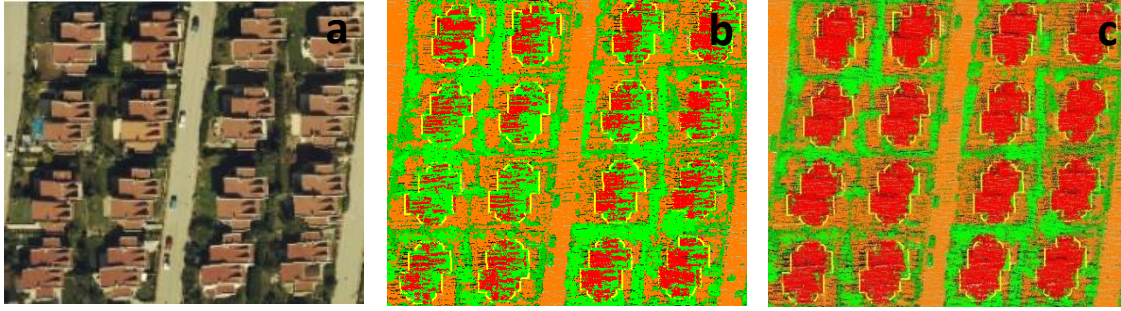
features), özdeğer (eigenvalue), yerel düzlem özellikleri (local plane features), yüzey tabanlı (surface-based) özellikler ve düşey profil (vertical profile) özellikleri gibi özellikler sınıflandırma uygulamalarında sıklıkla kullanılan geometrik özelliklerin öne çıkanlarından bazılarıdır (Kim ve Sohn, 2010; Mallet vd., 2011; Kim ve Sohn, 2013; Chehata vd., 2009). Dönüş özellikleri, bitki örtüsü gibi lazer sinyallerinin çoklu yansımalarına sebep olan yüzeylerden dönen sinyaller kullanılarak belirlenir. Dönüş tabanlı özellikler, tekli dönen (single return), ilk dönen (first return), ortada dönen (intermediate return) ve son dönen (last return) noktaların farklı birleşimleri ile oluşturulur. Tam dalga boyu kaydeden LiDAR sistemlerine özgü olan dalga formuna dayanan özellikler, dönüş genliği (echo amplitude), dönüş genişliği (echo width), dönüş şekli (echo shape) ve dönüş enine kesiti (echo cross-section) olarak tanımlanabilir (Chehata vd., 2009). Nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarında bu özelliklerden uygun olanı kullanılarak LiDAR verileri bina sınıfını içerecek şekilde sınıflandırılır ve yine sınıflandırılan bina noktalarının dümlensellik, eğim, alan vb. hesaplanan özelliklerine göre 3 boyutlu bina modelleri üretilir.

Bu çalışmada, hava LiDAR verileri ile 3B bina modeli üretimi için LiDAR noktalarının sınıflandırılması amacıyla otomatik nokta tabanlı sınıflandırmaya olanak sağlayan iki sınıflandırma yaklaşımı (Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2) önerilmiştir. Nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi, yapısal olarak herhangi bir işlem uygulanmamış (ham) LiDAR nokta bulutu verilerini araziye ifade eden temel sınıflara ayırmak için kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak sınıflandırmada kullanılacak özellikler belirlenmiş ve bu özellikleri kullanan sınıflandırma adımları birbiri ardına eklenerek kural setleri elde edilmiştir. Yaklaşım 1 için hem geometrik özellikler hem de dönüş tabanlı özelliklerin yer aldığı sınıflandırma adımları hiyerarşik bir düzende sıralanarak bir kural seti oluşturulmuştur. Yaklaşım 2 için ise yine benzer şekilde bir hiyerarşik kural seti oluşturulmuştur fakat Yaklaşım 2’de, Yaklaşım 1’den farklı olarak LiDAR’ın çoklu dönüş özelliğini kullanan sınıflandırma adımlarına yer verilmemiştir.

Nokta tabanlı sınıflandırma yaklaşımında sınıflandırma işlemine tabii tutulan her bir nokta, özelliklerine göre analiz edilmekte ve oluşturulan kural setlerine göre ait olduğu sınıfa otomatik olarak atanmaktadır. Buradaki kritik unsur kural setleri içerisindeki sınıflandırma işlemi için kullanılacak parametrelerin gerçekçi bir yaklaşımla belirlenmesidir. Belirlenen bu parametrelerin farklı arazi topografyası ve farklı arazi örtüsü (orman, yeşil alan, kentsel ve tarım alanı) için en optimum sonuçları vermesi nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik sınıflandırma işleminin başarı açısından oldukça önemlidir. Söz konusu parametrelerin değerleri ne kadar iyi belirlenirse sınıflandırma işlemi doğruluğu o kadar artacaktır. Kural setlerinin oluşturulmasının ardından, bu setlerde yer alan sınıflandırma adımlarında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi için detaylı parametre analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin, bina ve bitki örtüsü olmak üzere üç ana sınıfın elde edilmesi amaçlanan bu çalışmada sınıflandırma doğruluğunun yüksek olması için özellikle zemin ve bina sınıflarına ilişkin çok detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin ve bitki örtüsü sınıflarının parametre analizleri için çalışma bölgesinde aynı pilot bölge, bina sınıfının parametre analizi için ise farklı bir pilot bölge seçilmiştir. Şekil 1’de zemin ve bitki örtüsü analizi için seçilen pilot bölgenin ortofotosu ve pilot bölgenin analiz öncesi ve sonrası durumu verilmiştir. Şekil 2’de ise benzer şekilde bina sınıfı parametre analizi için seçilen pilot bölgenin ortofotosu ve pilot bölgenin analiz öncesi ve sonrası durumu verilmiştir. Parametre analizleri sonucunda, Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2’de aynı parametre setinin kullanılması uygun görülmüştür.



**Şekil 1.** Zemin ve bitki örtüsü sınıflarının parametre analizi için seçilen pilot bölgenin ortofotosu (a), analiz öncesi (b) ve sonrası (c)



**Şekil 2.** Bina sınıfının parametre analizi için seçilen pilot bölgenin ortofotosu (a), analiz öncesi (b) ve sonrası (c)

### 3.3B BİNA MODELLERİNİN OTOMATİK ÜRETİMİ

Bu çalışmada, basit 3 boyutlu bina modellerinin hava LiDAR verileri ile otomatik üretim olanakları araştırılmış ve 3B otomatik bina modeli üretimine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu bölümde, kentsel alan olarak ifade edilen çalışma alanı ve çalışmada kullanılan LiDAR verileri, 3 boyutlu bina modeli üretilmesi için önerilen nokta tabanlı sınıflandırma ve sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen bina sınıfı kullanılarak basit bina modellerinin oluşturulmasına ilişkin yaklaşım ayrıntılı bir biçimde verilmiştir.

#### 3.1.Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

3B basit bina modeli üretimi için, İstanbul Avrupa yakasında bulunan Sarıyer ilçesine bağlı Zekeriyaköy’de yer yer açık ve ormanlık alanları içeren kentsel bir bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Farklı türde binaların da bulunduğu çalışma alanına ait ortofoto görüntü Şekil 3a’da verilmiştir. Burada kullanılan tüm veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilen ve ‘Hava LiDAR Teknolojisiyle Sayısal Yüzey Modeli ve 3 Boyutlu Kent Modeli Projesi’ kapsamında 2013 yılı Eylül ayında ‘Eurocopter AS350’ helikoptere yerleştirilmiş ‘Riegl LSM-Q680i’ tam dalga boyu kaydeden (full-waveform) lazer tarayıcı ile toplanan LiDAR verileridir. İBB’den elde edilen 16 nokta/m<sup>2</sup> yoğunluklu LiDAR verileri LAS (Log ASCII Standard) formatındadır ve zemin, alçak bitki örtüsü, orta bitki örtüsü, yüksek bitki örtüsü, bina, alçak nokta ve hava nokta sınıfları oluşacak şekilde standart parametreler ile kabaca sınıflandırılmıştır (Şekil 3b).

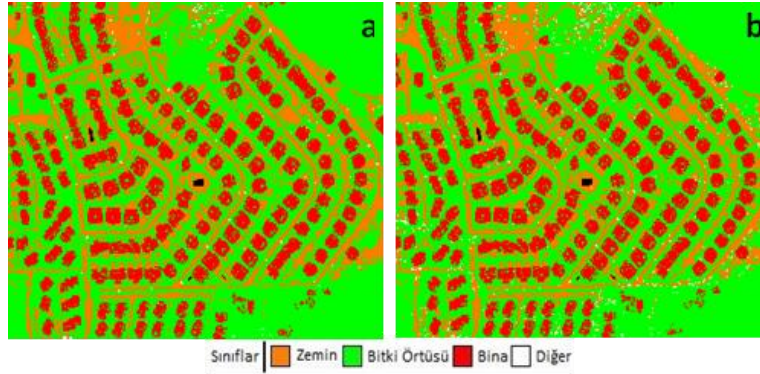


**Şekil 3.** Çalışma alanına ait ortofoto görüntü (a) ve standart parametreler ile kabaca sınıflandırılmış nokta bulutu (b)

#### 3.2.Hava LiDAR Nokta Bulutunun Sınıflandırılması

Çalışma bölgesinde belirlenen kentsel alana ait nokta bulutu verileri 3 boyutlu bina modeli üretiminde kullanılmak üzere, önerilen nokta tabanlı Yaklaşım 1 (hem geometrik hem dönüş tabanlı özellikler kullanılarak) ve Yaklaşım 2 (geometrik özellikler kullanılarak) ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi, nokta bulutu yönetim ve işlemeye olanak sağlayan TerraSolid yazılımının TerraScan modülü aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırmada kullanılan Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2, parametre analizleri sonucu belirlenen parametreler kullanılarak oluşturulan hiyerarşik kural setleri ile sınıflandırma işlemini otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Sınıflandırma işlemi sonucunda zemin, alçak bitki örtüsü, orta bitki örtüsü, yüksek bitki örtüsü, bina, varsayılan, alçak nokta ve hava nokta sınıfları elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda tek bir bitki örtüsü sınıfı elde edilmesi öngörüldüğünden sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra hem Yaklaşım 1, hem de Yaklaşım 2 ile elde edilen sınıflandırılmış nokta bulutlarında alçak bitki örtüsü, orta bitki örtüsü ve yüksek bitki örtüsü sınıfları birleştirilerek tek bir bitki örtüsü sınıfı altında toplanmıştır. Ayrıca benzer şekilde varsayılan, alçak nokta ve hava nokta sınıfları da diğer olarak isimlendirilen tek bir sınıf altında toplanmıştır. Çalışma alanının hem geometrik hem dönüş tabanlı özellikler kullanılarak oluşturulan Yaklaşım 1 ve sadece geometrik özellikler kullanılarak oluşturulan Yaklaşım 2 ile

gerçekleştirilen otomatik nokta tabanlı sınıflandırma işlemi sonuçları Şekil 4’de verilmiştir.

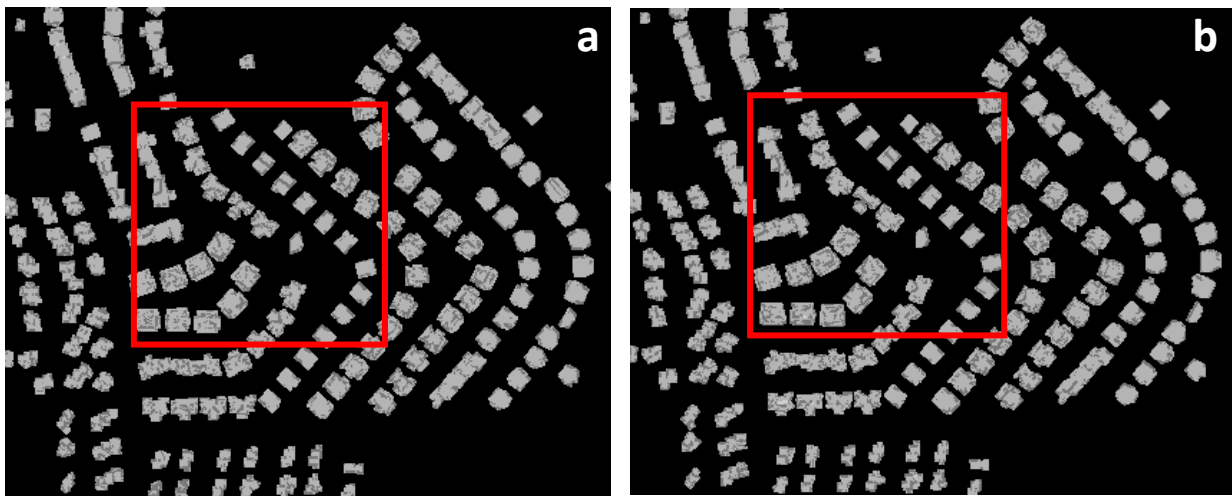


**Şekil 4.** Çalışma alanının Yaklaşım 1 (a) ve Yaklaşım 2 (b) ile gerçekleştirilen otomatik nokta tabanlı sınıflandırma işlemi sonuçları

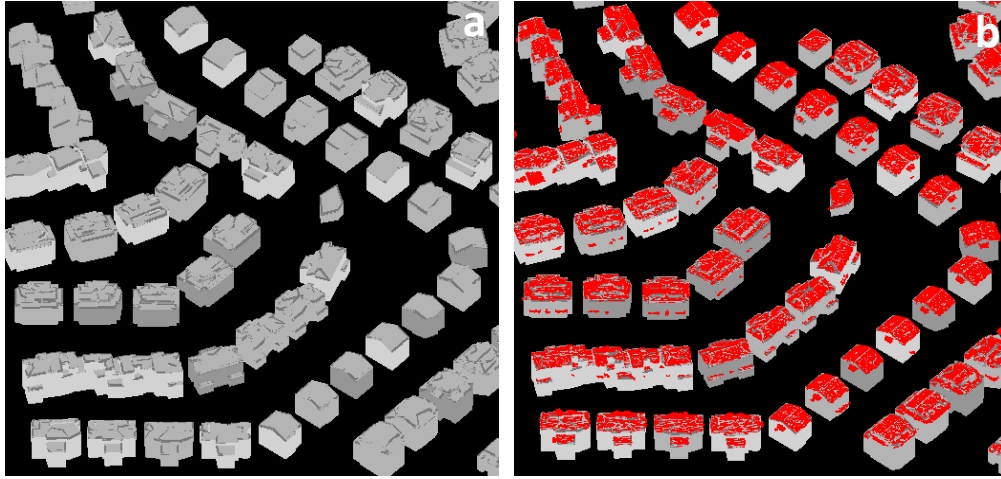
Kentsel çalışma alanında Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2 kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçları, Yaklaşım 1’de hem geometrik hem de dönüş tabanlı özellikler, Yaklaşım 2’de ise sadece geometrik özellikler kullanılmasına rağmen birbirine çok yakındır. Yaklaşım 1 (Şekil 4a) ve Yaklaşım 2 (Şekil 4b) ile yapılan sınıflandırma sonuçları standart parametreler kullanılarak kabaca sınıflandırılmış nokta bulutu (Şekil 3b) ile karşılaştırıldığında zemin sınıfının çok daha doğru bir şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Çalışma alanındaki binalar arasından geçen yolların büyük bir çoğunluğu, kabaca sınıflandırılmış nokta bulutunda bitki örtüsü sınıfına atanmışken Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2 ile sınıflandırma sonucunda doğru bir şekilde zemin sınıfına dâhil edilmiştir. Ayrıca, Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2 kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırmalarda farklı türdeki bina noktaları da kabaca sınıflandırmaya oranla daha doğru bir şekilde bina sınıfına atanmıştır. Elde edilen sınıflandırma sonuçları, 3 boyutlu bina modeli üretimine yönelik otomatik nokta tabanlı sınıflandırma yönteminin başarısını ortaya koymaktadır.

### 3.3.Bina Modeli Üretimi

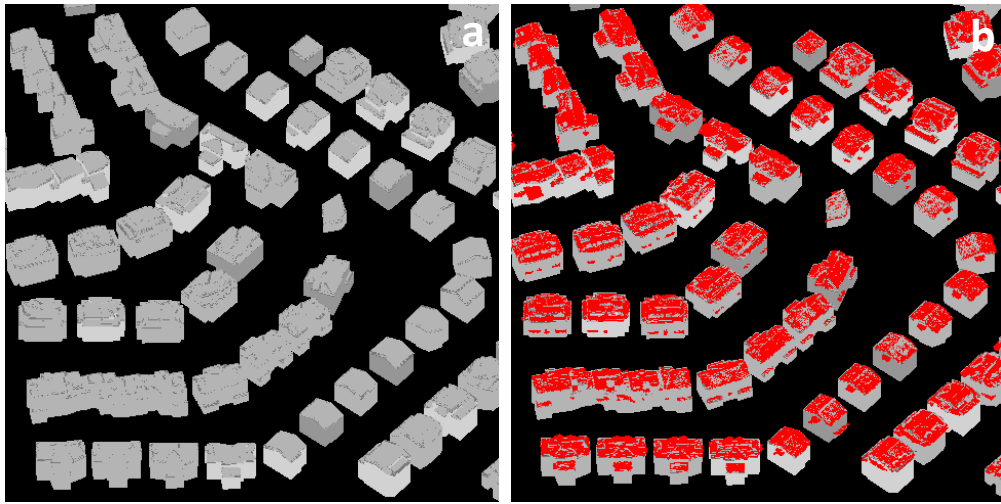
Bu çalışmada, LiDAR nokta bulutunun otomatik olarak nokta tabanlı sınıflandırılmasına olanak sağlayan, hem geometrik hem de dönüş tabanlı özelliklerin kullanıldığı Yaklaşım 1 ve sadece geometrik özelliklerin kullanıldığı Yaklaşım 2 ile sınıflandırılan bina noktaları esas alınarak çalışma alanı olan kentsel alanda basit 3 boyutlu bina modelleri üretilmiştir. Bina sınıfında yer alan noktalar kullanılarak elde edilen düzlemsellik, eğim, alan vb. özellikler ile yine TerraSolid yazılımının TerraScan modülü aracılığıyla 3 boyutlu bina modelleri otomatik olarak üretilmiştir. Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2 ile elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak otomatik olarak oluşturulan 3 boyutlu bina modellerinin perspektif görünümü Şekil 5’de yer almaktadır. Şekil 6’de Yaklaşım 1 elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak üretilen, Şekil 5’de kırmızı kare ile çevrilen bina modellerinin ve bu modellerin bina sınıfı noktaları ile karşılaştırılmış halinin daha yakından ve farklı bir perspektiften görünümü verilmiştir. Şekil 7’de de benzer şekilde Yaklaşım 2 elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak üretilen, Şekil 5’de kırmızı kare ile çevrilen bina modellerinin ve bu modellerin bina sınıfı noktaları ile karşılaştırılmış halinin daha yakından ve farklı bir perspektiften görünümü verilmiştir.



**Şekil 5.** Yaklaşım 1 (a) ve Yaklaşım 2 (b) ile elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak üretilen 3B bina modelleri



**Şekil 6.** Yakın perspektiften Yaklaşım 1 ile elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak üretilen 3B bina modelleri ve bu modeller ile bina sınıfı noktalarının çakıştırılmış hali (b)



**Şekil 7.** Yakın perspektiften Yaklaşım 2 ile elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak üretilen 3B bina modelleri (a) ve bu modeller ile bina sınıfı noktalarının çakıştırılmış hali (b)

3B bina modelleme sonuçları incelendiğinde, hem Yaklaşım 1 hem de Yaklaşım 2 kullanılarak sınıflandırılan binalar için başarılı bir şekilde 3B model üretildiği görülmektedir. Buna göre, bu çalışmada önerilen her iki yaklaşımla da sınıflandırma sonucu elde edilen bina sınıfları kullanılarak 3 boyutlu kent modeli üretimi gibi bina modellerine ihtiyaç duyulan çalışmalar için gerçekçi 3 boyutlu model üretiminin gerçekleştirilebileceği sonucuna varılabilir.

#### 4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kentsel alanların planlanması ve yönetimi için kritik öneme sahip 3 boyutlu kent modeli üretimi vb. çalışmalarda kullanılmak üzere hava LiDAR verileri kullanılarak 3B bina modeli üretimi gerçekleştirilmiştir. 3 boyutlu bina modeli üretiminin doğru ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için pilot bölgelerde detaylı parametre analizleri sonucunda hiyerarşik kurallar bütününden oluşan nokta tabanlı iki sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. Çalışma bölgesi olan İstanbul, Zekeriyaköy'e ait hava LiDAR verileri, önerilen hem geometrik hem de dönüş tabanlı özelliklerden oluşan Yaklaşım 1 ve sadece geometrik özelliklerden oluşan Yaklaşım 2 ile otomatik olarak sınıflandırılmıştır ve zemin, bina, bitki örtüsü sınıfları elde edilmiştir. Farklı özellikler kullanılmasına rağmen her iki yaklaşımın sınıflandırma sonucunun birbirine yakın olduğu ve kabaca sınıflandırılmış nokta bulutunda yanlış sınıflara atanan noktaların hem Yaklaşım 1 ve hem de Yaklaşım 2 ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonucunda ait oldukları sınıfa atandığı belirlenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, Yaklaşım 1 ve Yaklaşım 2 sınıflandırılması ile elde edilen bina sınıfı noktaları kullanılarak elde edilen düzlemsellik, eğim, alan vb. özellikler ile basit 3B bina modelleri otomatik olarak üretilmiştir. Sınıflandırmaya benzer şekilde, her iki yaklaşım ile elde edilen 3B bina modelleri de birbirine oldukça yakındır.

Bu çalışma sırasında önerilen yaklaşımla hava LiDAR verilerinden otomatik 3B bina modeli üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve otomatik 3B bina modellerinin 3 boyutlu kent modeli üretimi gibi farklı çalışmalarda

kullanım potansiyeli ortaya konmuştur. Bu çalışmada önerilen yaklaşımda, 3B bina modeli üretiminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi ile hava LiDAR noktalarının sınıflandırılması kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, 3B bina modellerin doğru bir şekilde üretilmesi için, ham LiDAR noktalarının sınıflandırma işleminde doğrudan kullanılması ve sınıflandırma işleminin detaylı parametre analizlerine dayanan nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Sınıflandırma doğruluğu arttıkça 3B bina modellerinin doğruluğu artırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Axelsson, P.**, 1999, Processing of Laser Scanner Data - Algorithms and Applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3): 138-147. PII: S0924- 2716 99 00008-8.
- Bao, Y.; Guoping, L.; Chunxiang, C.; Xiaowen, L.; Hao, Z.; Qisheng, H.; Linyan, B.; Chaoyi, C.**, 2008, "Classification of LiDAR Point Cloud and Generation of DTM From LiDAR Height and Intensity Data In Forested Area", *Internat. Arch. Photogram. Remote Sensing Spatial Inform. Sci.*, XXXVII(3/W19): 313-318.
- Biljecki, F.; Stoter, J.; Ledoux, H.; Zlatanova, S.; Çöltekin, A.**, 2015. Applications of 3D city models: state of the art review, *ISPRS Int. J. Geo-Inform.* 4, 2842-2889.
- Brenner, C.**, 2005, Building Reconstruction From Images and Laser Scanning, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, theme issue on Data Quality in Earth Observation Techniques*, 6(3-4): 187-198.
- Champion, N.; Rottensteiner, F.; Matikainen, L.; Liang, X.; Hyypä, J.; Olsen, B. P.**, 2009, A Test of Automatic Building Change Detection Approaches, *Proceedings of the CMRT09 Workshop, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Paris, France.
- Charaniya, A. P.; Manduchi, R.; Lodha, S. K.**, 2004, Supervised Parametric Classification of Aerial Lidar Data, *IEEE Workshop on Real Time 3D Sensor and their Use*, June 2004, Washington DC.
- Chehata, N.; Guo, L.; Mallet, C.**, 2009, Airborne LiDAR Feature Selection For Urban Classification Using Random Forests, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39 (Part 3/W8): 207-212.
- Döllner, J.; Baumann, K.; Buchholz, H.**, 2006, Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information Spaces. In: *Schrenk, M. (Ed.), Proc. 1th international conference on Urban Planning and Spatial Development in the Information Society (REAL CORP). CORP - Competence Center of Urban and Regional, Planning*, pp. 107-112.
- Forlani, G.; Nardinocchi, C.; Scaioni, M.; Zingaretti, P.**, 2006, Complete classification of raw LIDAR data and 3D reconstruction of buildings, *Pattern Analysis & Applications*, 8:357-374. DOI:10.1007/s10044-005-0018-2.
- Hommel, M.**, 2009, Verification of A Building Damage Analyses and Extension To Surroundings of Reference Buildings, *Proceedings of ISPRS laserscanning 2009 workshop*, 38 (Part 3-W8): 18-23.
- Kim, H. B.; Sohn, G.**, 2010, 3D Classification of Power-Line Scene From Airborne Laser Scanning Data Using Random Forests, *ISPRS Archives*, September 1-3, Saint-Mandé, France, 38(3A): 126-132.
- Kim, H. B., Sohn, G.**, 2013, Point-Based Classification of Power Line Corridor Scene Using Random Forests, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 79: 821-33.
- Kraus, K.; Pfeifer, N.**, 2001, Advanced DTM Generation From LiDAR Data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV: 23-30.
- Maas, H.-G.; Vosselman, G.**, 1999, Two Algorithms For Extracting Building Models From Raw Laser Altimetry Data, *ISPRS J. Photogramm. Rem. Sens.*, 54(2/3): 153-163.
- Mallet, C.; Bretar, F.; Roux, M.; Soergel, U.; Heipke, C.**, 2011, Relevance Assessment of Full-Waveform Lidar Data For Urban Area Classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6): 71-S84.
- Matikainen, L.; Hyypä, J.; Hyypä, H.**, 2003, Automatic Detection of Buildings From Laser Scanner Data For Map Updating, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34: 218-224.
- Niemeyer, J.; Rottensteiner, F.; Soergel, U.**, 2014, Contextual Classification of LiDAR Data and Building Object Detection In Urban Areas, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 152-165.
- Oude Elberink, S.; Vosselman, G.**, 2009, Building Reconstruction by Target Based Graph Matching on Incomplete Laser Data: Analysis and Limitations, *Sensors*, 9(8): 6101-6118.
- Pu, S.; Vosselman, G.**, 2009, Knowledge Based Reconstruction of Building Models From Terrestrial Laser Scanning Data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6): 575-584.
- Rottensteiner, F.**, 2003, Automatic Generation of High-Quality Building Models From LiDAR Data, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23(6): 42.
- Sithole, G.**, 2005, Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data. *Ph.D. Thesis*, ITC, University of Delft, The Netherlands, ISBN: 90 6132 292 8.
- Uzar Dinlemek, M.**, 2012, Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Kullanım Olanaklarının Analizi, *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzar, M.; Yastikli, N.**, 2013, Automatic Building Extraction Using Lidar and Aerial Photographs, *Bol. Ciênc. Geod.*, 19: 153-171.

- Vosselman, G.**, 2000, Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIII: 935–942.
- Vosselman, G.**, 2009, Advanced Point Cloud Processing, *In D. Fritsch (Ed.), Photogrammetric Week 2009*, Wichmann, 137–146.
- Vosselman, G.; Gorte, B.; Sithole, G.**, 2004, Change Detection For Updating Medium Scale Maps Using Laser Altimetry, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(Part B3): 207–212.
- Yastikli, N.; Cetin, Z.**, 2016, Classification of LiDAR Data With Point Based Classification Methods, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B3, 441-445, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B3-441-2016.
- Zhou, W.**, 2013, An Object-Based Approach For Urban Land Cover Classification: Integrating LiDAR Height and Intensity Data, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 10(4): 928–931.