LiDAR SİSTEMİ İLE OTOMATİK BİNA ÇIKARIM OLANAKLARININ ANALİZİ

Melis UZAR

Yrd.Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul, auzar@yildiz.edu.tr

ÖZET

Kent yönetiminde, yapılaşmanın izlenmesi ve mevcut durumun tespit edilmesi kontrol ve karar verme süreçleri için oldukça önemlidir. Kentlerde dönüşüm projelerinin uygulanmaya başlanmasıyla mevcut binalara ait doğru, güncel ve hızlı bina verisi ihtiyacı artmıştır. Özellikle deprem kuşağında yer alan kentlerde klasik ölçme yöntemleri ve fotogrametrik üretim süreçlerine gerek duyulmadan otomatik bina çıkarımı gündeme gelmiştir. Bu çalışmada LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemi ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik bina çıkarımı olanaklarının araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışma alanı olarak Almanya'nın Vaihingen bölgesine ait çoklu algılama sistemi ile elde edilen ISPRS Test veri seti kullanılmıştır. Otomatik bina çıkarımında karşılaşılan en yaygın problem, bina sınıfı ile bina sınıfı olmayan (yeşil alan, zemin vb.) sınıfların karışmasıdır. Bu çalışma ile bina sınıfı ile diğer sınıfların karışması probleminin çözümü için sınıflar arasındaki farklılıkların tespit edilip, sınıflandırma sonucunda karışan objelerin ilgili sınıflara atanmasına, iyileştirilmesine dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu geliştirme ve uygulama aşamasında Definiens eCognition Developer 8.64 programı kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, otomatik oluşturulan bina sınıfı için doğruluk analizleri ve değerlendirmeler yapılmıştır. Kural setlerinin geliştirilmesi ile Bina sınıfı için elde edilen % 76 doğruluk değeri % 85 doğruluk değerine kadar arttırılarak bina sınıfının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Çoklu algılama sistemi ile elde edilen çalışma alanı verileri kullanılarak otomatik bina çıkarımında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümü için geliştirilen çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Çoklu algılama sistemi, kentsel dönüşüm, kural-tabanlı sınıflandırma, LiDAR, otomatik bina çıkarımı.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF POSSIBILE USE OF AUTOMATIC BUILDING EXTRACTION WITH LiDAR SYSTEM

The monitoring of construction activities and determination of current situation is important for control and decision making process of urban management. In cities, the need for accurate, up to date and fast data for building is steadily increased with urban transformation projects. Especially, in cities located within seismic belts, automated building extraction without any requirement for classical measurement methods and photogrammetric production processes has become an important subject. In this study, automatic building extraction possibilities are investigated with multi sensor system which are consist of LiDAR (Light Detection and Ranging), GPS/IMU and digital camera positioned on the same platform using object-oriented rule-based classification method. For this purpose, ISPRS Test data set which was captured over Vaihingen in Germany was utilized. The common problem in automatic building extraction is misclassification of building and other objects (vegetation, ground etc.). In this study, the approach is developed based on the determination of the differences between building and other classes than improvement of the classification using these differences. The automatic building extraction is performed by the rule set which were developed under Definiens e-Cognition Developer 8.64 program. As a result of this study, the accuracy assessment of automatically extracted building class was performed using created rule set with developed approach. The obtained accuracy for the automatic building extraction was increased from 76 % to 85 % with the improvement of rule sets. The faced problems during automatic building extraction process with multi-sensor data were stated and the suggestions for solving problems were presented.

Keywords: Multi-sensor system, urban transformation, rule-based classification, LiDAR, automatic building extraction.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama ve fotogrametri; verilerin toplanması, işlemesi, entegrasyonu ve değerlendirilmesi aşamasında, yeni teknolojiler ile kentsel ve bölgesel verilerin yönetiminde fırsatlar sunan bir bilim dalıdır. Kent yönetiminde, yapılaşmanın izlenmesi ve mevcut durumun tespit edilmesi kontrol ve karar verme süreçleri için oldukça önemlidir. İnsan yapımı objelere ait bilgilerin, hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesi kent planlama ve kentin gelişimine ilişkin kritik kararların verilmesinde etkin rol oynamaktadır. Bu sebeple, kentsel alanlardaki bina, yol ve yeşil alan gibi objelerin otomatik çıkarımı çeşitli altyapı projelerinin planlanması, kentsel dönüşüm projeleri, nüfus hareketliliğinin incelenmesi, kaçak yapılaşmanın izlenmesi ve önlenmesi vb. projeler için güncel ve doğru bilgi elde edilmesi güncel araştırma konuları arasındadır. Özellikle gelişmekte olan ülkemizdeki projeler dikkate alındığında, deprem kuşağında yer alan kentlerde klasik ölçme yöntemleri ve üretim süreçlerine gerek duyulmadan, LiDAR sistemleri kullanılarak elde edilen veriler gündeme gelmiştir. İstanbul'da LiDAR sistemi kullanılarak veri toplama

işleminin tamamlandığı bu günlerde İstanbul Büyükşehir Belediyesinin kentsel dönüşüm projelerinde elde edilen veriler ile doğruluğu yüksek bilgi elde etme, bina, yeşil alan, su alanı gibi önemli objelerin otomatik çıkarım talebini karşılamak için çalışmalar yapılmaktadır. İBB Yol Bakım ve Altyapı Koordinasyon Daire Başkanlığı tarafından yürütülen ve İSTKA'nın desteklediği Panorama İstanbul Projesi (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Sorumluluğundaki Ana arter, Kavşak ve Meydanların Lazerle Taranması ve Sayısal Haritalarının Çıkarılması) kapsamında toplanan Lazer Nokta bulutu ile 4000km'lik Mobil Haritalama teknolojileri kullanılarak ölçülmüştür. Bir diğer önemli proje ise; "İstanbul İl Sınırları İçinde Hava LiDAR Teknolojisiyle Elde Edilecek LiDAR Verilerinden Sayısal Yüzey Modelleri ve 3 Boyutlu Kent Modelinin Üretilmesi İşi" adı altında gerçekleştirilmesi planlanan projedir. Yapılan araştırmalar sonucunda; LiDAR sistemi verileri kullanılarak otomatik obje çıkarımı konusu son zamanlarda gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi planlanan projeler dikkate alındığında oldukça önem arz ettiği açıkça görülebilmektedir.

Teknolojik gelişmeler ışığında LiDAR sistemi gibi yeni algılama sistemlerinin üretilmesi; farklı veriler ile çalışma imkânı, mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Otomatik obje çıkarımında tercih edilen algılama sitemleri sayısal kameralar, uydu görüntüleri ve LiDAR (Light Detection and Ranging) şeklinde sıralanabilir. Baltsavias (1999) ve Ackermann (1999), LiDAR sistemi ile klasik fotogrametrik veri üretim sistemini karşılaştırarak, LiDAR sisteminin önemini vurgulamışlardır. Bu sistemin sunduğu yenilikler ve diğer klasik yöntemlere göre sağladığı hız, yüksek doğruluk, etkin maliyet vb. avantajlar uzaktan algılama da ormanlık alanların çıkarımı (Kraus, 1997), SYM üretimi (Lohr, 1997), köprü çıkarımı (Sithole ve Vosselman, 2006) ve bina çıkarımı (Benz vd., 2004) gibi birçok uygulamada kullanılarak tercih sebebi olmuştur. Bu yeni teknoloji ile birlikte çevresel ve ekolojik değişiklikleri izleme (Drake vd., 2002), 3B kent modelleri, kentsel planlama ve gelişme (Haala ve Brenner, 1999), (Maas ve Vosselman, 1999) ve afet yönetimi (Cobby vd., 2001, Steinle vd., 2001) gibi konularda yapılan araştırmalar hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

LiDAR sistemi özellikle obje çıkarımı konusunda diğer tekli algılama sistemlerinden kaynaklanan dezavantajları ortadan kaldırabilme imkanı vermekte ve veri entegrasyonundan kaynaklanan (zaman ve farklı çözünürlük) hataların giderilmesinde önemli rol almaktadır. ISPRS WG III/4 tarafından çoklu algılama sistemi ile elde edilen LiDAR verisi ve yüksek çözünürlüklü görüntüden oluşan test veri seti ile "ISPRS Test Project on Complex Scene Analysis and 3D Reconstruction" isimli proje düzenlenmiştir. Bu projenin sonuçları, 24 Ağustos - 3 Eylül 2012 tarihinde gerçekleştirilen ISPRS kongresinde sunulmuştur. Düzenlenen bu proje aynı zamanda LiDAR sistemi verilerini kullanarak otomatik obje çıkarımı konusunun önemini vurgulamaktadır (Rottensteiner vd., 2012). Ayrıca, bu sistem kullanılarak elde edilen veriler, otomatik ve yarı otomatik obje yakalama yöntemlerinin gelişmesini ihtiyaç kılmıştır (Baltsavias, 1999; Rottensteiner vd., 2005; Lafarge vd., 2008).

Ülkemizde, obje çıkarımı konusunda; kentsel gelişim için açık alanların belirlenmesi (Maktav vd., 2011; Kalkan, 2011), çizgisel detayların çıkarımı (Eker, 2006; Eker ve Şeker, 2006), kentsel ayrıntıların çıkarım analizi (Marangoz, 2009) gibi farklı çalışmalar yapılmıştır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda otomatik bina çıkarımının (Haala ve Brenner, 1999; Mao vd., 2009; Wegner vd., 2011; Benz vd., 2004) yaygın bir çalışma konusu olduğu görülmektedir. Uzaktan algılama ve fotogrametri alanında obje çıkarımı ile ilgili araştırma yapan yazarlardan; Haala ve Brenner (1999), Sohn ve Dowman (2007), Lee vd., (2008), Demir vd., (2009), Awrangjeb vd., (2010), Beger (2011), Nex ve Rinaudo (2011), Moussa ve El-Sheimy (2012) yayınları incelendiğinde, veri setlerinin füzyonu ile obje çıkarımını tercih ettikleri belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda, LiDAR nokta bulutu verisinin obje çıkarımında yaşanılan sorunların giderilmesi için LiDAR verilerinin yanında fotogrametrik yöntem ile elde edilmiş hava fotoğrafları, uydu görüntüleri gibi farklı zamanlarda elde edilmiş alternatif raster veriler kullanılmaya başlanmıştır (Mao vd., 2009; Garcia vd., 2011). Gruen (2008) ve Kwak vd., (2012) çalışmalarında çoklu algılama sistemi verileri ile çalışmanın avantajlarını belirterek mevcut problemlerin çözümü için bu sistemi önermişlerdir. Bu yeni sistem ile elde edilen verilerin kullanımı otomatik obje çıkarımında yaşanılan sorunların çözümünü ve hedef sınıfların doğruluğunun artırılmasını amaçlamaktadır (Rottensteiner, 2012).

LiDAR ve sayısal kameradan elde edilen verilerin beraber kullanımı, otomatik obje çıkarımındaki sorunların çözümünde filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma gibi mevcut yöntemler kullanılarak, Dempster-Shafer metodu (Rottensteiner ve Clode, 2009) gibi farklı yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Son yıllarda, nesne tabanlı görüntü analizi yöntemi ile elde edilen sonuçların klasik piksel tabanlı yöntemlere göre daha yüksek doğruluk elde edilmesiyle, otomatik obje çıkarımında nesneye yönelik sınıflandırma tercih edilmeye başlanmıştır (Navulur, 2007). Bu gelişmeler nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak farklı yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özellikle otomatik bina çıkarımında kullanılan görüntü analiz yöntemlerinde, bir yöntemin uygulanması tek başına çözüm getirmediği durumlarda birden çok yöntemin kullanılması ile kurallar geliştirilerek objeler sınıflandırılmaktadır.

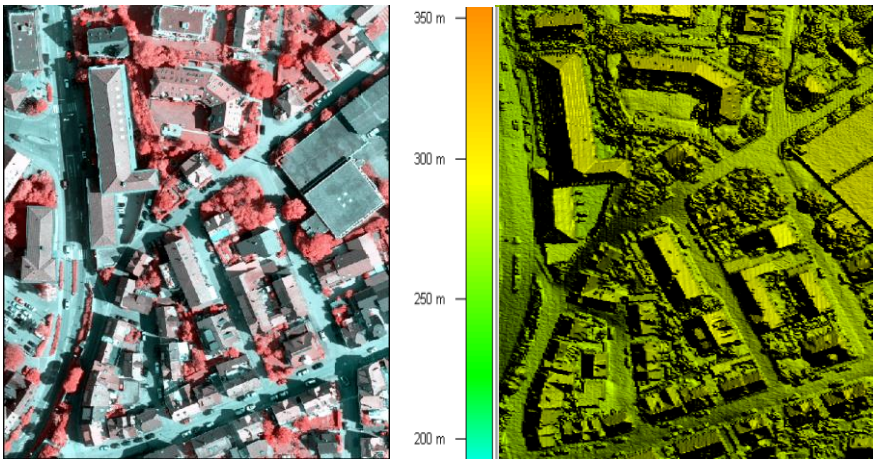
Bina sınıfının diğer sınıflar ile karışması en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Bu karışıklık ancak bina sınıfı özelliklerinin diğer sınıf özelliklerine göre farklılıkları tespit edilip, ayırt edildiğinde çözümlenebilir. Bu sorunun çözümü için, Hough dönüşümü (Hough 1962; Tarsha-Kurdi vd. 2007), Eğim analiz yöntemi (Zevenbergen ve Thorne, 1987), Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) yöntemi (Rottensteiner vd. 2004; Demir vd.,

2009; Awrangjeb vd., 2010), Snake metodu (Kabolizade vd., 2010; Peng vd., 2005) vb. yöntemler tek başına kullanılmıştır. Ayrıca, tek başına kullanılan yöntemlerin dışında, Dempster-Shafer metodu (Rottensteiner ve Clode, 2009; Rottensteiner vd., 2005 gibi kurallara dayalı farklı yaklaşımlardan oluşan yöntemler ile de çözüm gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Rottensteiner ve Breise (2002), LiDAR verisini kullanarak kural tabanlı yöntem üzerine yoğunlaşmıştır. Matikainen (2004) LiDAR yükseklik ve yoğunluk verisi üzerine kural setleri geliştirme üzerine çalışmıştır. Bu yöntemlere ek olarak, ISO DATA (Richards, 1993; Haala ve Brenner, 1999) ve K means algoritması gibi farklı sınıflandırma yöntemleri de bina ve diğer sınıfların karışıklıklarını gidermek için kullanılan yöntemlerdendir. Bina sınıflarının iyileştirilmesi konusunda Yong ve Huayi (2008), Matikainen (2004), Kabolizade vd. (2010), Blaschke (2010), Pakzad vd. (2011) ve Uzar (2012) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

Günümüzde obje çıkarım işlemleri manüel ve yarı otomatik olarak ön plana çıkmasına rağmen halen otomatik obje çıkarımı üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu sebeple, LiDAR sistemi ile otomatik obje çıkarımı oldukça yeni ve halen araştırılmakta olan bir çalışmadır. Modern lazer tarama teknolojisi olan LiDAR ve yüksek çözünürlüklü sayısal kamera teknolojisine ait zengin veri kaynağı ile sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılarak, ortaya çıkabilecek olan; yeşil alan ile bina karışması, gölge sorunu, binaların kenarların belirsizliği, gürültü gibi problemlerin çözümleri için farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu önerilen yaklaşım ile algoritmalar geliştirilerek en ideal metotlar ile kural setleri geliştirilmiş, analizler ile uygun parametreler tespit edilmiş, objelerin geometrik ve bütünlüğü dikkate alınarak yüksek doğruluk ile otomatik bina çıkarımı sağlanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Bu çalışmada, Almanya Vaihingen bölgesine ait çalışma alanı verileri kullanılmıştır. Bu ISPRS veri seti Alman Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (DGPF) tarafından sayısal hava kameraları testi için elde edilmiştir (Cramer, 2010). ISPRS Komisyon III, Çalışma Grubu 4 tarafından 2012 yılında düzenlenen "Kent Alanlarında Sınıflandırma ve 3B Bina Çıkarımı" adlı test projesindeki veriler kullanılmıştır. Ağustos 2008 yılında LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kamera bileşenlerinden oluşan verileri ile çalışılmıştır. Kullanılan çalışma alanında karmaşık yapıya sahip tarihi binalar ve ağaçlar ile kaplı yeşil alan mevcuttur. Ayrıca kentsel alan olması nedeniyle herhangi bir kentin sahip olduğu tüm özellikleri; arabalar, yollar, binalardaki detaylar vb. taşımaktadır. Çalışma alanı verileri, Leica ALS50 LiDAR ve Intergraph/ZI DMC sayısal kamera ile elde edilmiştir (Cramer, 2010). Sayısal renkli görüntü (ortofoto) 8cm yer çözünürlüğüne sahip bloklardan oluşmaktadır. LiDAR ile elde edilen ortalama nokta yoğunluğu ise 4nokta/m^2 ve 0.25m çözünürlüğe sahip sayısal yüzey modeli kullanılmıştır. Şekil.1'de otomatik bina çıkarım olanaklarının analizinde kullanılan sayısal renkli görüntü (ortofoto) ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 1. Çalışma alanı verileri: Ortofoto (a), SYM (b).

3. YÖNTEM

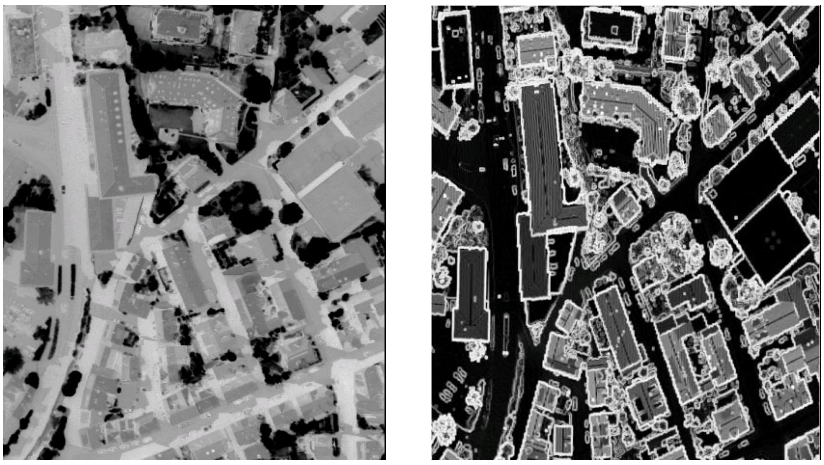
Bu çalışmada, otomatik bina çıkarımı için nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım ile LiDAR sisteminden elde edilen LiDAR verileri ve sayısal ortofoto görüntü kullanılarak kural setleri geliştirilmiştir. LiDAR sisteminin veri zenginliği ve bulanık mantık sınıflandırma yönteminin sağladığı avantajlarından yararlanılmıştır. Bu çalışmada bina sınıfı hedef sınıf olarak belirlenirken, bina sınıfının yanı sıra yeşil alan, gölge, zemin, bina sınırı gibi yardımcı sınıflarda oluşturulmuştur. Önerilen bu yaklaşım

ile bina sınıfının yüksek doğruluk ile elde edilmesi için kural setleri uygun parametre analizleri ile değerlendirilerek, tanımlanmış ve bina sınıfı iyileştirilmiştir. Önerilen otomatik bina çıkarımı yaklaşımı obje tabanlı görüntü işleme metoduna dayanmaktadır. Bu metot ise segmentasyon ve sınıflandırma olarak iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan segmentasyon görüntüyü ortak özelliklere göre bölgelere veya objelere ayırır (Navulur, 2007). Bu işlem anlamlı analiz ve sınıflandırma aşamasında objelerin doğru olarak temsil edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Segmentasyon işleminde, obje sınırlarının doğru bir şekilde yakalanması ve iyileştirilmesinde farklı ağırlıklı değerler kullanılmıştır. Bu aşamada, objelerin spektral ve konumsal özellikleri dikkate alınarak, sahip oldukları piksel değerlerine göre gruplara ayrılmıştır. Objelerin segment olarak temsil edilmesinde kullanılan bu değerler ise renk, morfoloji, doku, şekil vb. özellikler ile hesaplanmıştır. Kontrast ayırma ve çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemleri kullanılarak doğru obje bölümlemelerinin yaratılması için uygulanmıştır. Kontrast ayırma segmentasyonu yöntemi parlak ve koyu piksel değerlerinin kenar oranını kullanarak obje konturlarının yakalanmasını sağlar (Trimble Definiens, 2010). Çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi ise ölçek, renk, şekil, yumuşaklık ve parlaklık değerlerini içeren heterojen kriterleri kullanır (Benz vd, 2004; Beger vd., 2011). Obje segmentlerinin segmentasyon aşamasında oluşturulmasından sonra bulanık mantık ile sınıflandırma yöntemi uygulanılarak hedef sınıflar oluşturulmuştur. Sınıflandırma aşamasında, çoklu algılama sistemi verileri ve bu verilerden elde edilen NDVI, Eğim görüntüsü gibi yardımcı veriler de kullanılarak alan, şekil, yoğunluk vb. istatistiksel veri analizleri gerçekleştirilmiştir. LiDAR sistem verileri kullanılarak kural tabanlı sınıflandırma yönteminin seçilmesinin sebebi ise sınıf karışıklığı probleminin geliştirilen kural setleri ile çözümlenmesidir. Segmentasyon ve sınıflandırma işleme aşamaları obje sınıfları oluşturmak ve bina sınıfının iyileştirilmesi için, geliştirilen kural setlerinde düzenli bir döngü ile tekrarlanacak şekilde organize edilmiştir. Algoritma geliştirme, analiz ve değerlendirme, uygun kural setleri ve hedef sınıflarının otomatik çıkarımı Definiens eCognition Developer 8.64. ortamı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. LiDAR SİSTEMİ İLE OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI

Bu çalışmada nesne tabanlı görüntü analizi ve kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak LiDAR sistemi verileri ile otomatik bina çıkarımı için farklı bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Daha önceki çalışmalarda (Uzar, 2012; Uzar, 2013) geliştirilen bu kural seti bu çalışma alanı için modifiye edilerek farklı kentsel alan verileri üzerinde çalışma fırsatı yakalanmıştır. Bu yaklaşım ile geliştirilen kural setinde, bina sınıfının oluşturulmasında LiDAR verileri ve Sayısal görüntü temel alınmıştır. Otomatik bina çıkarımında bina hedef sınıfının çıkarılmasında; çalışma alanı sınırı, yeşil alan, zemin, gölge, bina sınır, diğer (araba, tente, cam pencere, saksı, saçaklar gibi bina hedef sınıfı dışında kalan objeler) adlı yardımcı sınıflar oluşturulmuştur. Ayrıca bina sınıfının iyileştirilmesi ve diğer sınıflarla karışmasının engellenmesi için kural setleri uygun parametre analizleri gerçekleştirilerek geliştirilmiştir.

Bina hedef sınıfının oluşturulması için ortofoto ve sayısal yüzey modelinin yanı sıra Eğim ve NDVI görüntüleri gibi yardımcı görüntülerde üretilmiştir. NDVI görüntüsü; ortofoto kullanılarak NDVI yöntemi ile üretilmiştir (Şekil.2a). Eğim görüntüsü ise; sayısal yüzey modeli kullanılarak Zevenbergen ve Thorne Eğim analiz yöntemi ile oluşturulmuştur (Şekil.2b). Bu yaklaşımda, üretilen görüntüler segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarında kural setine dahil edilmiş ve sınıfların iyileştirilmesi ve bina sınıfının doğruluğunun artırılması amaçlı kullanılmıştır.



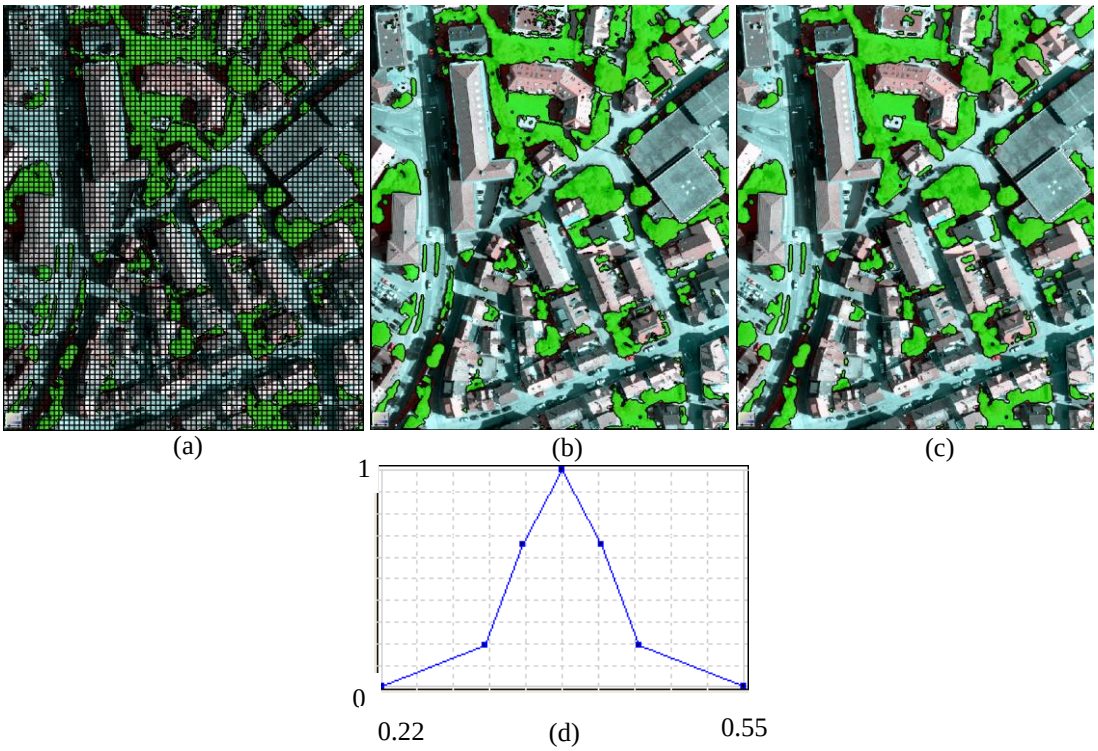
(a) (b)

Şekil 2. Üretilen görüntüler: NDVI görüntüsü (a), Eğim görüntüsü (b).

Bu uygulamada, çoklu çözünürlüklü ve kontrast farkı tipi segmentasyonlar ve bulanık mantığa dayalı nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak kural setleri tanımlanmıştır. Bu kural setleri ile otomatik bina çıkarımı amaçlı geliştirilmesi ve analiz değerlendirmeleri e-cognition Developer 8.64 modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Benz

vd., 2004). Önerilen yaklaşımın geliştirilmesinde obje sınırlarının tanımlanması, sınıf komşuluk ilişkisi, istatistik değerler, bölge inceltme, yumuşatma, bölge birleştirme, minimum, maksimum ve ortalama piksel değerleri, bölge genişletme, sınır komşuluk değerleri vb. yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler ile ilk olarak binaların diğer objelerden farklı olan özellikleri tespit edilmiş, uygun parametre analizleri gerçekleştirilmiş ve son aşamada ise algoritmalar geliştirilmiş, kurallar ile tanımlanmıştır.

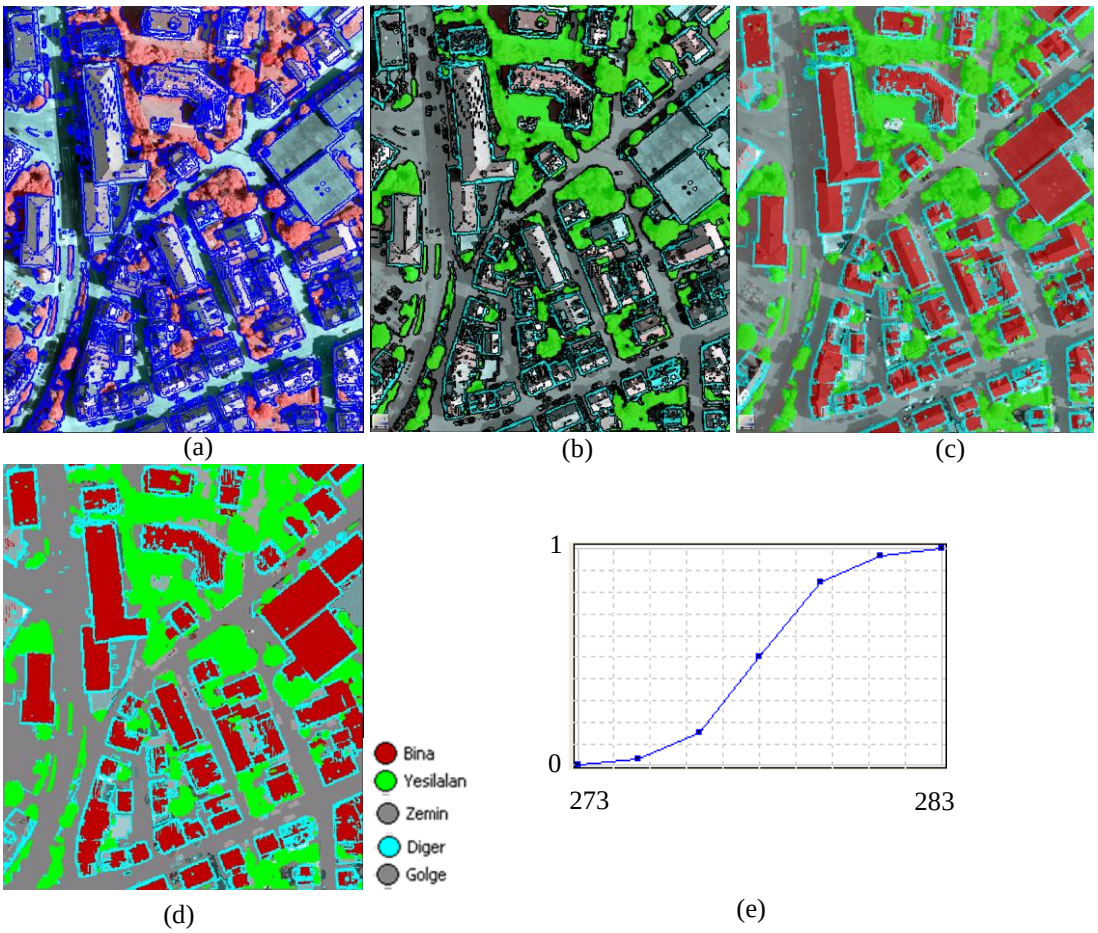
Çalışma alanın kentsel bir bölge olması sebebiyle ilk olarak bina ile yeşil alanın ayrılması için yeşil alan sınıfı oluşturulmuştur. Bu sınıfının oluşturulması için NDVI görüntüsündeki yeşil alan, ağaçlar ve bitki örtüsünü temsil eden minimum ve maksimum piksel gri değer aralıkları ($0.22 \leq x \leq 0.55$) analiz ile belirlenerek, kontrast farkı segmentasyonu ve bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır (Şekil.3). Yeşil alan sınıfının iyileştirilmesi için morfolojik filtreler ve bölge birleştirme yöntemleri kullanılmış ve Yeşil alan sınıfının iyileştirilmiş görüntüsü Şekil.3c'de verilmiştir.



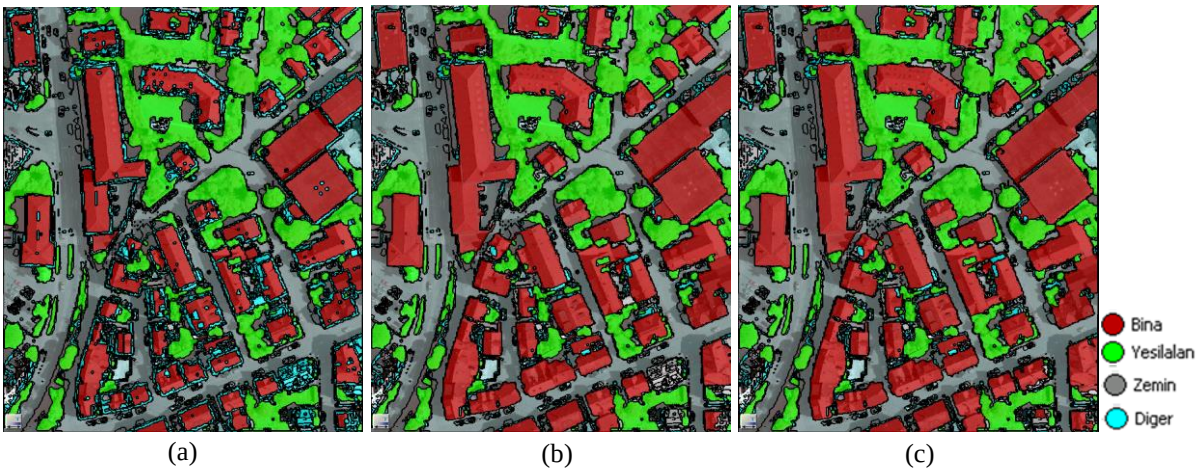
Şekil 3. Yeşil alan sınıfı oluşturma aşamaları: kontrast farkı segmentasyonu (a), bulanık mantığa dayalı nesne tabanlı sınıflandırma (b), iyileştirilmiş yeşil alan (c), bulanık mantık NDVI görüntü parametre aralıkları (d).

Yeşil alan sınıfı diğer objelerden ayrıldıktan sonra, ikinci aşamada sırayla zemin, gölge ve bina sınırlarının yakalanma işlemi uygulanmıştır. Zemin sınıfının oluşturulmasında Şekil.4e'de gösterilen Sayısal Yüzey Modeli parametreleri tespit edilmiş ve istatistik hesaplamalar kullanılmıştır (Şekil.4a). Gölge sınıfında ise ortofoto ile parlaklık değer parametreleri (gölge ≤ 92) dikkate alınarak bulanık mantığa dayalı sınıflandırma kullanılmıştır (Şekil.4c). Şekil 2b'de gösterilen Eğim görüntüsüne uygulanan kontrast ayırma segmentasyonu analiz sonucu elde edilen parametreler ($50 \leq$ eşik değer ≤ 77) kullanılarak, Şekil.4c'de gösterilen bina sınırları yakalanmıştır. Önerilen yaklaşımın hedefinin otomatik bina çıkarımı olması sebebiyle gölge ve zemin sınıfı aynı renk lejantı ile birleştirilmiş ve bina sınıfının yakalanan bina sınırları Diğer adlı sınıfa atanmıştır (Şekil.4d). Oluşturulan Zemin, Gölge, Diğer ve Bina sınıfları sahip oldukları segmentler bazında kendi aralarında birleştirme yöntemi uygulanarak bir bütünlük sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra ise bina sınıfını iyileştirilme işlemleri başlamaktadır. Bina sınıfının iyileştirilme aşamasında bina sınıfı ile karışan objeler tespit edilmiştir. Çalışma alanında mevcut olan tarihi binaların yapısı incelendiğinde cam pencereler, çıkma balkonlar ve farklı yapıda düz olmayan çatı tipleri bina sınıfının gerçeğe uygun şekilde yakalanmasında karşılaşılan sıkıntılardan bazılarıdır. Özellikle kent alanlarında çatı ve balkonlara yerleştirilen saksı ve şemsiyeler çözülmesi gereken önemli sorunlardan bazılarıdır. Bu sorunların çözümünde ilk olarak bina sınırılarının komşuluk yöntemiyle bina sınıfına dahil edilmesiyle başlanılmıştır. Alan parametresi ile bina sınıfı dışındaki objeler ayıklanmıştır. Sadece Bina sınıfı ve Diğer sınıfı içeren objeler kullanılarak sorunların çözümünde ilk olarak bina sınırılarının komşuluk yöntemiyle bina sınıfına dahil edilmesiyle başlanılmıştır. Sadece Bina sınıfı ve Diğer sınıfı içeren objeler kullanılarak çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve analiz edilen parametreler (Ölçek parametresi= 25, Şekil= 0.4, Renk= 0.5) ile Bina sınıfı iyileştirilmesine devam edilmiştir (Şekil.5a). Böylece bina sınıfında olması gereken objeler tespit edilmiş ve yumuşatma, basitleştirme ve birleştirme yöntemleri

kullanılarak Bina sınıfına dahil edilmiştir (Şekil.5b). Ayrıca Şekil.5b'de özellikle yakalanamayan kompleks iki adet bina sınır indeks değerleri ve SYM verieri analiz edilerek bina sınıfı olarak yakalanmıştır (Şekil.5c).

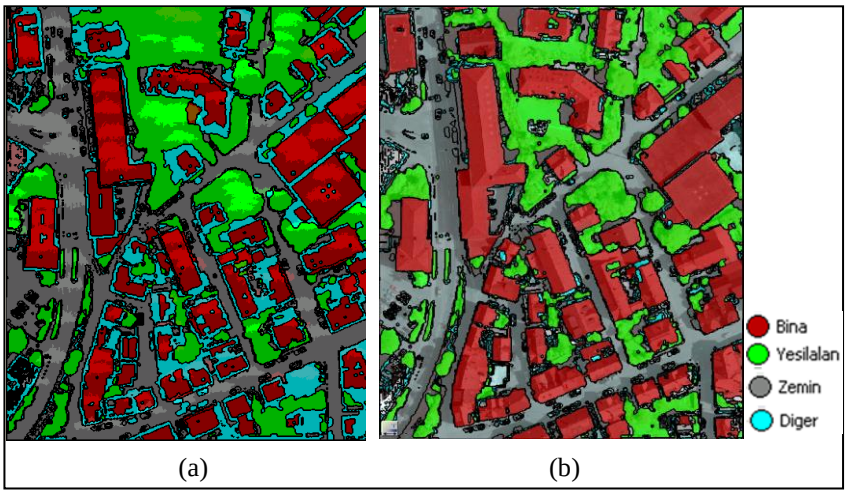


Şekil 4. Eğim görüntüsü kullanılarak kontrast farkı segmentasyonu ile eğim analizi (a), zemin sınıfı (b), gölge sınıfı ve bina sınır (Diğer) sınıfı oluşturulması (c), zemin ve gölge sınıfının birleştirilmesi (d), bulanık mantık SYM görüntü parametre aralıkları (e).



Şekil 5. LiDAR sistemi ile otomatik bina çıkarımı analizi; çoklu çözünürlüklü segmentasyonu (a), bina sınırı iyileştirilmesi (b), kompleks iki binanın yakalanması ve iyileştirilmiş bina sınıfı (c).

Bu çalışmada, LiDAR sistemi veri seti ile nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik bina çıkarımı için olanaklar analiz edilmiştir.Bina sınıfı sınıflandırma sonuçları için Definiens e-cognition Developer 8.64 yazılımının içerdiği doğruluk analizi yöntemlerinden "Error Matrix based on TTA (Training or Test Areas) Mask" yöntemi kullanılmıştır. Bina sınıfı iyileştirilmesi gerçekleştirilen doğruluk analizlerinin sonucunda %76 değerinden %85 değerine kadar iyileştirme sağlanmıştır. Önerilen yaklaşım sonucunda otomatik çıkarılan bina sınıfı için doğruluk analizi ile doğruluk %85 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. LiDAR sistemi ile elde edilen otomatik bina sınıfı doğruluk analizleri: ilk analiz (a), son analiz (b).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada LiDAR sistem verilerinden elde edilen LiDAR veri ve sayısal ortofotonun avantajları birleştirilerek, nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımı amaçlı yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Sınıf karışıklığı probleminin çözümü için sayısal görüntü işleme teknikleri çoklu segmentasyon ve kontrast farkı segmetasyonları ile bulanık mantığa dayalı sınıflandırma yöntemleri kullanılmış, parametre analizleri ile bina sınıfı ve diğer sınıfların farklı özellikleri tespit edilmiş ve uygun parametreler ile kurallar tanınmıştır. Bu kurallar tasarlanan algoritmalar ile uygun bir sıra ve düzen ile bina sınıfının iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Bu aşamalarda bina sınıfı için gerçekleştirilen sınıflandırma doğruluğunun bina sınıfının iyileştirilmesi ile paralel olarak artması sağlanmıştır. Tam otomatik olarak tasarlanan bu yaklaşım özellikle kentsel alanlardaki bina çıkarımında başarı gösterdiği gözlenmiştir. LiDAR sistem verileri ile daha önce gerçekleştirilen çalışmalar (Uzar ve Yastıklı, 2012; Uzar, 2013) incelendiğinde, farklı çalışma alanlarında kullanılan kural setlerinin modifiye edilerek, karmaşık bir yapıya sahip olan bu ISPRS test alanında da başarı göstermesi, geliştirilen yaklaşımın kullanılabilirliğini ve kabul edilebilir doğruluğunu desteklemektedir. Önceki çalışmalarda geliştirilen kural setinin, bu test alanında geliştirilerek otomatik bina sınıfı sınıflandırma doğruluğu analiz sonucu %76 değerinden %85 değerine kadar iyileştirilmiştir.

Bu çalışmada, LiDAR sistem verilerinin avantajlarının kullanılması ile tekli algılama sistemlerinde elde edilen verilere göre otomatik bina çıkarımında sınıf karışıklıklarının giderildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile objelerin doğru sınıflara aktarılması ve iyileştirme aşamalarında başarılı sonuçlar alınması, hataların ortadan kaldırılmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Önerilen yaklaşımın, tam otomatik bir sistem olarak geliştirilmesi, küçük test alanlarından geniş alanlara kadar tüm bölge için çalışabilirlik avantajı getirmektedir. Gerekli görülen bölgelerde kurallara müdahale edilerek daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Geliştirilen kural setleri ile önerilen bu yaklaşım kentsel dönüşüm, kaçak yapılaşmanın takibi ve önlenmesi, doğal afet ve kriz yönetimi gibi önemli birçok alanda kullanılabilecektir.

TEŞEKKÜR

Vaihingen veri seti German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation (DGPF) [Cramer, 2010] tarafından sağlanmıştır. Yazar veri setinin kullanım izni için Dr. Naci Yastıklı'ya teşekkür eder. http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/DKEP-Allg.html

KAYNAKLAR

Ackermann, F., 1999, Airborne Laser Scanning Present Status and Future Expectations, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (54): 64-67.

Awrangjeb, M.; Ravanbakhsh, M.; Fraser, C. S., 2010, Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65:457-467

Baltsavias, E. P., 1999, Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54:164-198.

Beger, R.; Gedrange, C.; Hecht, R.; Neubert, M., 2011, Data fusion of extremely high resolution aerial imagery and LiDAR data for automated railroad centre line reconstruction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66:40-51.

Benz, U.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I.; Heynen, M., 2004, Multi-Resolution, Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-Ready Information, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58: 239-258.

Blaschke, T., 2010, Object Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, (65), 2-16.

Cobby D.M.; Mason D.C.; Davenport I.J., 2001, Image Processing of Airborne Scanning Laser Altimetry Data For Improved River Flood Mapping, *ISPRS Journal of Photogrammetry, Remote Sensing*. 56:121-138.

Cramer, M., 2010, The DGPF test on digital aerial camera evaluation, overview and test design Photogrammetrie Fernerkundung, *Geoinformation* 2 (2010):73-82.

Demir, N.; Poli, D.; Baltsavias, E., 2009, Detection of Buildings at Airport Sites Using Images & Lidar Data and A Combination of Various Methods, IAPRS, Paris, France, 71-77.

Drake, J. B.; Dubayah R. O.; Clark, D. B., 2002, Estimation of Tropical Forest Structural Characteristics Using Large-Foot Print Lidar, *Remote Sensing. Environment*, 79:305-319.

Eker, O., 2006, Hava Fotoğraflarından Yarı Otomatik Olarak Çizgisel Detayların Belirlenmesi, *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eker, O.; Şeker, D.Z., 2006, Hava Fotoğraflarından Çizgisel Detayların Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi**,** *İTÜ dergisi*, Cilt:5, Sayı:6, 3-14.

García, M.; Riano, D.; Chuvieco, E.; Salas, J.; Danson, F.M., 2011, Multispectral and LiDAR Data Fusion For Fuel Type Mapping Using Support Vector Machine and Decision Rules, *Remote Sensing of Environment*, pp. 1369-1379.

Gruen, A., 2008, Reality-based generation of virtual environments for digital earth, *International Journal of Digital Earth*, 1: 88-106.

Haala, N.; Brenner, C., 1999, Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54:130-137.

Hough, P., 1962. Methods and Means For Recognizing Complex Patterns, U.S. Patent, 3,069,654.

Kabolizade, M.; Ebadi, H.; Ahmadi, S., 2010, An Improved Snake Model For Automatic Extraction of Buildings From Urban Aerial Images and Lidar Data, *Computers, Environment and Urban Systems*, 435-441.

Kalkan, K., 2011, Kentsel Gelişim İçin Potansiyel Açık Alanların Belirlenmesinde Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi İle Transfer Edilebilir Kural Dizisi Oluşturulması. *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kraus, K., 1997, Restitution of airborne laser scanner data inwooded areas, *Proceedings of the EARSeL 3rd Workshop on Laser Remote Sensing of Land and Sea*, Tallinn, Estonia, 97–104.

Kwak, E.; Al-Durgham M.; Habib A., 2012, Automatic 3D building model generation from lidar and image data using sequential minimum bounding rectangle. *Proceedings of XXII ISPRS Congress*, Melbourne, Australia.

Lafarge, F.; Descombes, X.; Zerubia, J; Pierrot-Deseilligny M, 2008, Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63: 365-381.

Lee D.; Lee K.; Lee S., 2008, Fusion of lidar and imagery for reliable building extraction. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74: 215-225.

Lohr, U., 1997, Digital Elevation Models by Laserscanning, *CoastGIS '97, Second International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management*, Aberdeen, UK.

Maas, H.; Vosselman, G., 1999, Two Algorithms For Extracting Building Models From Raw Laser Altimetry Data, *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 54:153-163.

Maktav, D.; Jürgens, C.; Siegmund, A.; Sunar, F.; Eşbah, H.; Kalkan, K.; Uysal, C.; Mercan, O.Y.; Akar, İ.; Thunig, H.; Wolf, N., 2011, Multi-criteria Spatial Decision Support System for Valuation of Open Spaces for Urban Planning,. *Recent Advances in Space Technologies (RAST), 5th International Conference*, pp:160-163.

Mao, J.; Liu, X.; Zeng, Q., 2009, Building Extraction by Fusion of LIDAR Data and Aerial Images, *IEEE Urban Remote Sensing Joint Event.*

Marangoz, A., 2009, Uydu Görüntülerinden Kentsel Ayrıntıların Nesne-Tabanlı Sınıflandırma Yöntemiyle Belirlenmesi ve CBS Ortamında Bütünleştirilmesi, *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Matikainen, L.; Hyyppä, J.; Kaartinen, H., 2004, Automatic Detection of Changes From Laser Scanner and Aerial Image Data For Updating Building Maps, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Turkey, Part B2, 434-439.

Moussa A.; El-Sheimy N., 2012, *A* new object based method for automated extraction of urban objects from airborne sensors data. *Proceedings of: XXII ISPRS Congress*, Melbourne, Australia

Navulur, K., 2007, Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm, CRC Press, Taylor & Francis Group,6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.

Nex F.; Rinaudo F., 2011, LiDAR or Photogrammetry?, Italian Journal of Remote Sensing, 43: 107-121.

Pakzad, K.; Klink, A.; Müterthıes, A.; Gröger, G.; Stroh, V.; Plümer, L., 2011, Hybrid automatic building interpretation system, *ISPRS Hannover Workshop, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*.

Peng, J.; Zhang, D.; Liu, Y., 2005, An Improved Snake Model for Building Detection From Urban Aerial Images, *Pattern Recognition Letters*, 26:587-595.

Richards, J.A., 1993, Remote Sensing and Digital Image Analysis, Springer, Verlag, Berlin.

Rottensteiner F.; Trinder, J.; Clode, S.; Kubik, K., 2005, Using the Dempster Shafer method for the fusion of LIDAR data and multispectral images for building detection, *Information Fusion*, 6 (4), 283-300.

Rottensteiner, F.; Baillard, C.; Sohn, G.; Gerke, M., 2012, ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction, *ISPRS Commission III Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis Working Group III/4 Complex Scene Analysis and 3D Reconstruction.*

Rottensteiner, F.; Clode, S., 2009, Building and Road Extraction By LiDAR and Imagery, *Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing.* Taylor &Francis Group, 445-478.

Rottensteiner F.; Briese C., 2002, A new Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LIDAR Data", *IAPSIS* XXXIV 3A:295–301.

Rottensteiner, F.; Trinder, J.; Clode, S.; Kubik, K., 2004, Fusing Airborne Laser Scanner Data and Aerial Imagery For The Automatic Extraction of Buildings In Densely Built-Up Areas, *The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing's Twentieth Annual Congress*, Istanbul, Turkey, 512-517.

Sithole, G.; Vosselman, G., 2006, Bridge detection in airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 61:33-46.

Sohn, G.; Dowman, I., 2007, Data Fusion of High-Resolution Satellite Imagery and LiDAR Data For Automatic Building Extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (62), pp. 43–63.

Steinle, E.; Kiema, J.; Leebemann, J., 2001, Laser Scanning For Analysis of Damages Caused By Earthquake Hazards, Proceedings *of the OEEPE-Workshop on Airborne Laser scanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models*, Stockholm.

Tarsha-Kurdi, F.; Landes, T.; Grussenmeyer, P., 2007, Hough Transform and Extended Ransac Algorithms For Automatic Detection of 3D Building Roof Planes From Lidar Data. *ISPRS*, 36:407-412.

Trimble Definiens, **A.G. (Ed.),** 2010, *E-Cognition 8.64 Reference Book*. Trimble, Munich.

Uzar, M., 2012, Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Verilerinin Kullanım Olanaklarının Analizi, *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Uzar, M., 2014, Automatic Building Extraction with Multi-sensor Data Using Rule-based Classification, *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 47, p. 1-18.

Uzar, M.; Yastıklı N., 2013, Automatic Building Extraction Using LiDAR and Aerial Photographs, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, Vol. 19, N. 2, p. 153-171.

Wegner, J.D.; Hänsch, R.; Thiele, A.; Soergel, U., 2011, Building Detection From One Orthophoto and High-Resolution InSAR Data Using Conditional Random Fields, *IEEE Journal of selected topics in applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4: 83-91

Yong. L.; Huayı, W., 2008, Adaptive building edge detection by combining LiDAR data and aerial images, The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII.

Zevenbergen L.; Thorne C., 1987, Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface Processes and Landforms 12:47-56.