LiDAR VERİLERİ KULLANILARAK KURAL TABANLI SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ İLE OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI

Melis UZAR[1],Naci YASTIKLI[2],

[1] Yük. Müh., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa, 34210,Esenler İstanbul, meeellis@gmail.com
[2] Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34210,Esenler İstanbul, ynaci@yildiz.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, aynı platform üzerine yerleştirilen; LiDAR, GPS\IMU ve sayısal kameradan oluşan çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler kullanılarak otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi kullanılmış ve farklı segmentasyon yöntemleri ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma yöntemleri ile bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Sivas'a ait Pilatus HB-FKL uçak ile Kasım 2010'da gerçekleştirilen uçuş ile Leica ALS60 LiDAR, GLM 60 (GPS/ CUS6-"uIRS" IMU) ve DiMAC (Digitial Modular Aerial Camera), Dalsa Area Bayer RGB Charge Coupled Device (CCD) sayısal kamera ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Uygulama aşamasında otomatik bina çıkarımı için geliştirilen kural setlerinde, eğim analizi, Canny kenar yakalama yöntemi, kontrast ayırma ve çoklu çözünürlüklü farklı segmentasyonlar ve matematiksel morfolojik yöntemler kullanılmıştır. İkinci aşama ise, bina sınıfı ile diğer sınıflar arasındaki karışıklıkların giderilmesi için komşuluk, şekil, alan vb. parametreler dikkate alarak sonuçlar iyileştirilmiştir. Kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımına ilişkin doğruluk ve bütünlük analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: LiDAR, Bina çıkarımı, Kural tabanlı sınıflandırma, Kenar yakalama, Segmentasyon

ABSTRACT

AUTOMATIC BUILDING EXTRACTION USING LiDAR DATA WITH RULE-BASED CLASSIFICATION

In this study, the automatic building extraction possibilities were investigated with multi sensor systems, which are composed of LiDAR, digital camera and GPS/IMU positioned on the same platform by the rule-based classification method. For this purpose, the rule sets are developed using object oriented analysis method with different segmentation methods and fuzzy-logic classifications. Test data set was captured over Sivas in November 2010. The components of the integrated system on Pilatus HB-FKL plane were; Leica ALS60 LiDAR, GLM 60 (GPS/ CUS6-"uIRS" IMU) and DiMAC, Dalsa Area Bayer RGB Charge Coupled Device (CCD) digital camera. This study presents an approach for improvement of automatic building extraction results using slope analysis, Canny line detection, mathematical morphology methods and different segmentations such as contrast split and multi resolution. In a second step, to eliminate the mixed classes and improve the classification results, parameter of neighborhood, shape, area etc. were utilized. The accuracy analysis was performed on automatic extracted building class with completeness and correctness.

Keywords: LiDAR, Building extraction, Rule-based classification, Line detection, Segmentation

1.GİRİŞ

Bina, yol, yeşil alan vb. objelerin otomatik çıkarımı, fotogrametri ve bilgisayar görüntüleme çalışma gruplarının önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Sayısal görüntülerden obje çıkarımı ve bilgisayar üzerinde bu bilgilerin temsil edilmesi, sınıflandırılması fotogrametrinin çalışma alanına girmektedir. Ülkemizde, obje çıkarımı konusunda; kentsel gelişim için açık alanların belirlenmesi (Maktav vd., 2011; Kalkan, 2011), çizgisel detayların çıkarımı (Eker, 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. Yol kenar çizgilerinin çıkarımı (Heipke, 1996; Haala ve Brenner, 1999; Rottensteiner ve Clode, 2009) ise diğer önemli bir çalışma konusudur. Ayrıca, ormanlık alanların tespiti (Kraus, 1997), köprü detaylarının belirlenmesi (Sithole ve Vosselman, 2006; Elberink, 2010), otobandaki araçların yakalanması (Yao ve Stilla, 2011) gibi farklı amaçlar içeren obje çıkarımına ilişkin çalışmalarda mevcuttur. Otomatik bina çıkarımında tercih edilen algılama sitemleri sayısal kameralar, uydu görüntüleri ve LiDAR algılama sistemleri şeklinde sıralanabilir. Teknolojik gelişmeler ışığında yeni algılama sistemlerinin üretilmesiyle farklı veriler ile çalışma imkânı, mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni yaklaşımların ortaya çıkması sağlanmaktadır. Fotogrametride sayısal hava kameralarının gelişimi ile sağladığı yüksek (radyometrik) çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntüler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Sadece hava fotoğrafları kullanılarak bina çıkarımı konusunda gölge, boşluk ve zayıf kontrast değerleri gibi problemler ortaya çıkmaktadır (Rottensteiner vd., 2004). Bu çalışmalarda, sadece sayısal görüntülerin kullanılması durumunda bina

olmayan objelerin bina olarak çıkarıldığı gözlenmiştir. Ayrıca, yükseklik verisinin de olmaması, sadece görüntü üzerinde 2 boyut ile çalışma çıkarılan objelerin birbirleri ile karışmasına sebep olmaktadır. Bu sınıf karışması da objelerin yanlış sınıflarda temsil edilmesine yol açmaktadır.

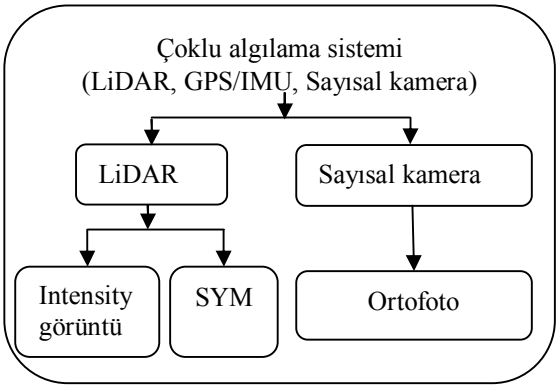
Teknolojik gelişmelere paralel olarak lazer tarama teknolojisi olan LiDAR sayısal hava kameraları ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Baltsavias (1999) ve Ackermann (1999), LiDAR sistemi ile klasik fotogrametrik veri üretim sistemini karşılaştırarak, LiDAR sisteminin önemini vurgulamışlardır. LiDAR ile elde edilen nokta bulutu ve yoğunluk verisi ile obje çıkarımı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu algılama sisteminin sunduğu yenilikler ve diğer klasik yöntemlere göre sağladığı hız, yüksek doğruluk, maliyet vb. avantajlar uzaktan algılama da ormanlık alanların çıkarımı (Kraus, 1997), Sayısal Yükseklik Modeli (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, 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. Diğer bir taraftan, sadece LiDAR verisi ile yapılan çalışmalarda, nokta bulutu verisinin yoğunluğundan kaynaklanan gürültü ve çok fazla bilgi yüklü olması, veri işleme açısından zaman kaybına yol açmaktadır. Lazer ışığının saçılması ile oluşan yanlış veya eksik veri elde edilmesi de obje çıkarımının doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca aynı yüksekliğe sahip olan bina ve ağaçların birbirleriyle karışması kaçınılmazdır. Yeni LiDAR sistemlerinde mevcut olan yoğunluk (intensity) verisi kullanılarak farklı yoğunluk değerine sahip objelerin birbirinden ayrılmasında yeşil alan, ormanlık alan, farklı bitki örtüsü ve ağaç çıkarımında (Korpela vd., 2010), buzul yüzeylerdeki buz, kar (Höfle vd., 2007) vb. objelerin çıkarımında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı yükseklik ve farklı yoğunluk değerine sahip olan su ve yol gibi objelerin ayırımında kısmen sorun ortadan kalksa bile tam bir çözüme ulaşmak mümkün olamamıştır. Bunun yanı sıra yoğunluk verisi, renkli görüntülere göre net olmayan, çok da sağlıklı ve güvenilir olmayan bilgi aktarmaktadır (Habib, 2009). Bu problemler dikkate alındığında otomatik obje çıkarımı için kullanılan lazer tarama teknolojisi farklı obje çıkarımı yöntemleri kullanıldığında bile tek başına yeterli olmamaktadır. 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).

Otomatik obje çıkarımında, LiDAR ve sayısal kamera gibi tekli algılama sistemlerinden elde edilen veriler ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan problemlerin ortadan kaldırılması için farklı algılama sistemleri ile elde edilen verilerin entegrasyonu (fusion) uygun bir çözüm yolu olarak gündeme gelmektedir. LiDAR verileri ile hava fotoğrafları ya da uydu görüntülerinin birlikte kullanılması otomatik bina çıkarımı için alternatif olarak önerilmektedir (Sohn ve Dowman, 2007). LiDAR verileri ve hava fotoğrafları ile bina çıkarımı Kabolizade vd. (2010) tarafından önerilirken, Haala ve Brenner (1999), LiDAR verileri ve çok bantlı görüntüleri kullanarak bina ve ağaç çıkarımı ile üzerine çalışmışlardır. Bu önerilerin yanında, Elberink (2010), LiDAR verileri ve topografik haritaların kullanımı ile yol ve bina çıkarımı konusunda çalışmasıyla katkıda bulunmuştur. Rottensteiner vd. (2007) ise LiDAR verileri ile çoklu spektral görüntülerin birlikte kullanımı ile bina çıkarımı üzerine çalışmalar gerçekleştirerek veri entegrasyonunu desteklemişlerdir. Veri entegrasyonu ile sınıflandırma doğruluğu yüksek obje sınıfları elde etme imkânı sağlanmıştır (Rottensteiner vd., 2004; Zhou vd., 2004).

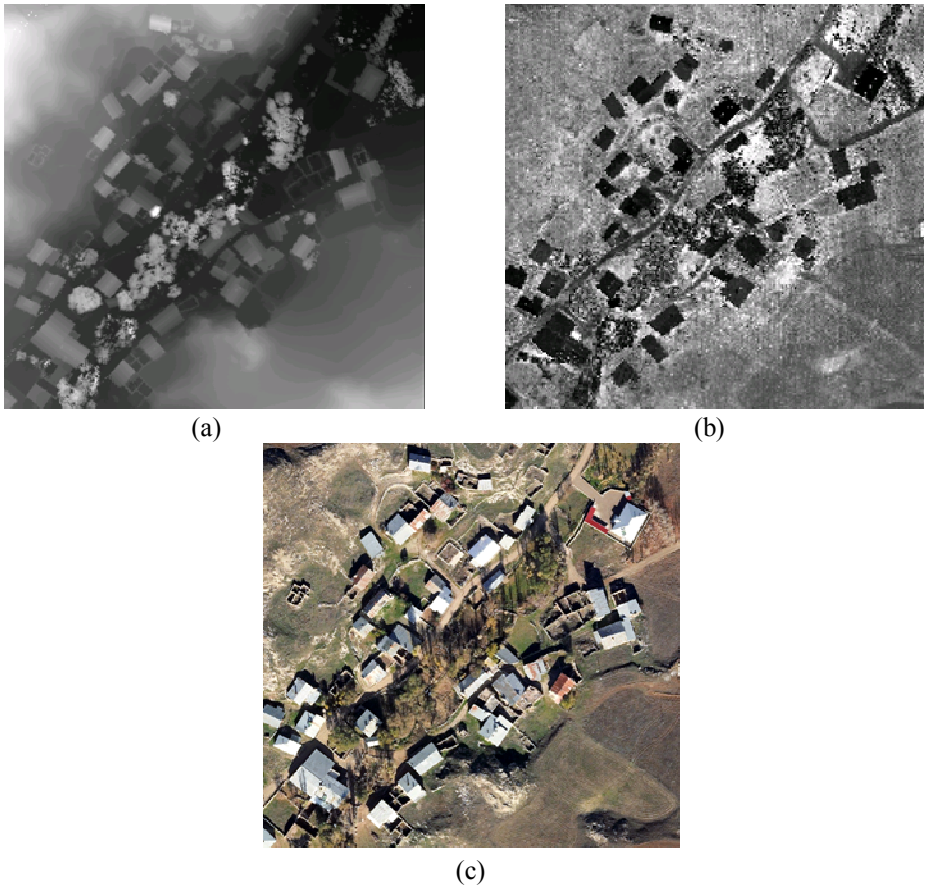
LiDAR ve sayısal kameradan elde edilen verilerin beraber kullanımı, otomatik obje çıkarımındaki sorunların çözümünde filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma gibi mevcut yöntemler kullanılarak, Dempster-Shafer metodu (Rottensteiner ve Clode, 2009) gibi farklı yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Filtreleme ile istenmeyen ölçülerin ölçü grubundan temizlenmesi ve yer yüzeyi ile yer yüzeyine ait olmayan ölçülerin birbirinden ayrılması işlemleri gerçekleştirilmektedir (Vosselman, 2000). Yer yüzeyinin üzerindeki bina ve ağaçların birbirinden ayrılması için ise morfolojik filtreler veya farklı tekniklerin kullanılması gereklidir (Sithole, 2005). Segmentasyon işleminde farklı geometrik, radyometrik veya doku özelliklerine sahip objelerin bu özelliklerini temsil eden nokta bulutuna göre ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Schenk, 1999). Sınıflandırma aşamasında objeler bina, yol, ağaç gibi hedef sınıflara göre farklı gruplar altında toplanmaktadır (Hu, 2003). Veri entegrasyonu ile otomatik obje çıkarımında, nokta tabanlı yöntemlerin yanında piksel tabanlı yöntemlerde yerini almaya başlamıştır. 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 kullanılarak farklı yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fakat farklı zamanlarda, farklı platformlardan elde edilen verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki negatif etkileri kaçınılmazdır. Bu durum araştırmacıları bütünleşik veri kullanımı ile tek bir algılama sisteminde karşılaşılan sorunların elemine edilmesi için çözüm arayışına yöneltmiştir. Aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kameradan oluşan bütünleşik sistem "Çoklu Algılama Sistemi" şeklinde adlandırılmaktadır. Bu yeni sistem ile elde edilen verilerin kullanımı otomatik obje çıkarımında yaşanılan sorunların çözümünü ve hedef sınıfların doğruluğunun artırılmasını amaçlamaktadır (Rottensteiner, 2012). Çoklu algılama sistemi özellikle obje çıkarımı konusunda diğer tekli algılama sistemlerinden kaynaklanan dezavantajları ortadan kaldırabilme imkânı ve veri entegrasyonundan kaynaklanan (zaman ve farklı çözünürlük) hataların giderilmesinde önemli rol almaktadır.

2.ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Bu çalışmada, Türkiye, Sivas iline ait çalışma alanı verileri kullanılmıştır. Aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kamera bileşenlerinden oluşan çoklu algılama sistemi verileri ile çalışılmıştır (Şekil.1). Bu veriler, Pilatus HB-FKL uçak kullanılarak aynı platforma yerleştirilen Leica ALS60 LiDAR, GLM 60 (GPS/ CUS6-"uIRS" IMU) ve DiMAC, Dalsa Area Bayer RGB Charge Coupled Device (CCD) sayısal kamera ile elde edilmiştir. Bu çalışmada, LiDAR ile elde edilen 0.2m çözünürlüğe sahip, nokta bulutu ve yoğunluk (intensity) verisi ile sayısal kameradan elde edilen 0.2m çözünürlüklü sayısal renkli görüntü (ortofoto) kullanılmıştır (Şekil.2). Lazer tarayıcı sistemlerle elde edilen veri ham nokta bulutudur. Bu noktalar veri işleme aşamasında işlenerek düzenli grid aralığına sahip sayısal yüzey modeli elde edilmiştir. Sayısal yüzey modelinde, yer yüzeyine ait olmayan ağaç ve binalara ilişkin noktalar mevcuttur.



Şekil 1. Çoklu algılama sistemi.

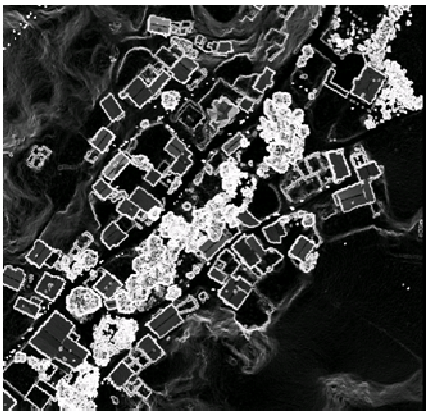


Şekil 2.Çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler: SYM(a), intensity görüntü (b), renkli ortofoto (c).

3.KURAL TABANLI SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ İLE OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI

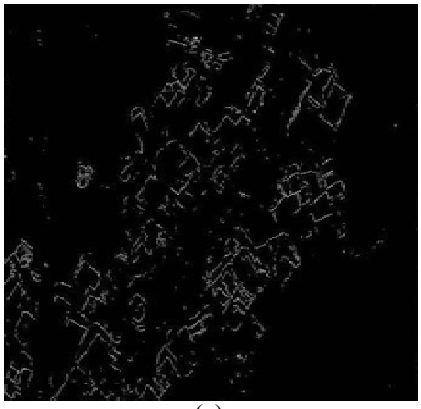
Bu çalışmada nesne tabanlı görüntü analizi ve kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik bina çıkarımı için farklı bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım ile geliştirilen kural setinde, bina sınıfının oluşturulmasında LiDAR verileri temel alınmıştır. Sayısal görüntü ise bina sınıfının iyileştirilmesi aşamasında kullanılmıştır. Kural-tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak oluşturulan kural setinde, LiDAR ve sayısal kameradan elde edilen veriler yardımıyla bina, bina sınırı, yeşil alan, zemin, çalışma alanı ve diğer (samanlık, kulübe gibi hedef sınıfların dışında kalan objeler) hedef sınıfları oluşturulmuştur. Ayrıca, bu hedef sınıfların oluşturulması için Eğim, Canny ve bant farkı görüntüleri gibi yardımcı görüntüler üretilmiştir. Bina sınıfı için sayısal yüzey modeli (Şekil.2a) kullanılarak Zevenbergen ve Thorne Eğim analiz yöntemi ile eğim görüntüsü (Şekil.4a) oluşturulmuştur. Ayrıca, ortofoto (Şekil.2c) kullanılarak bant farkı işlemi ile bant farkı görüntüsü (Şekil.3b) ve Canny kenar yakalama yöntemi ile Canny görüntüsü (Şekil.3c) üretilmiştir. Bu yaklaşımda, üretilen görüntüler segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarında kural setine dahil edilmiş ve sınıfların iyileştirilmesi ve bina sınıfının doğruluğunun artırılması amaçlı kullanılmıştır.

Bir çok uygulamada segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı işlem yapılmasına olanak veren e-Cognition programı kullanılmaktadır (Benz vd., 2004). Bu yaklaşımın gerçekleştirilmesi, kural setinin geliştirilmesi ve uygulanmasında ise e-cognition Developer 8.64 modülü kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın geliştirilmesinde obje sınırlarının tanımlanması, sınıf komşuluk ilişkisi, istatistik değerler, bölge inceltme, yumuşatma, bölge birleştirme, minimum, maksimum ve ortalama piksel değerleri kullanılmıştır.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3. Üretilen görüntüler: Eğim görüntüsü (a), Canny görüntüsü(b), bant farkı görüntüsü (c).

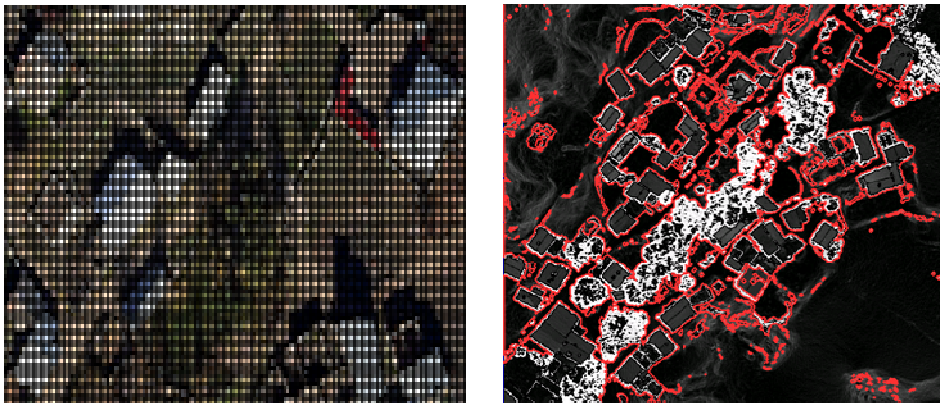
Otomatik bina çıkarımı için önerilen yaklaşımda kullanılan yöntem ve kuralların işlem adımları Çizelge.1'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu yaklaşımda, objelerin birbirlerinden farklı olan özelliklerini tespit etmek için algoritmalar geliştirilmiş ve kurallar ile tanımlanmıştır. Çalışma alanı sınıfı için ortofoto görüntüsü, (Şekil 4a)'da gösterilen satranç tahtası segmentasyonu ile görüntü sınırına olan mesafe parametresi kullanılarak oluşturulmuştur. Ortofoto görüntüsü kullanılarak bant farkı görüntüsü üretilmiştir. Çalışma alanındaki yeşil alan sınıfının oluşturulması için bant farkı görüntüsündeki yeşil alan ve bitki örtüsünü temsil eden minimum ve maksimum piksel gri değer aralıkları belirlenerek kontrast farkı segmentasyonu ve bulanık mantık yöntemiyle yeşil alan sınıfı oluşturulmuştur. Yeşil alan

sınıfının iyileştirilmesi için segmentasyon aşamasında morfolojik filtreler kullanılmıştır. Sayısal yüzey modeli ve istatistiksel hesaplar ile zemin sınıfı oluşturulur. Bina sınırı sınıfının oluşturulması ise sayısal yüzey modeli ile zemin sınıfı farkı ile gerçekleştirilir. Eğim görüntüsüne uygulanan ve (Şekil 4b)'de gösterilen kontrast ayırma segmentasyonu ile obje sınırları yakalanmıştır. Sayısal görüntüye uygulanan (Şekil 4c)'de gösterilen çoklu çözünürlüklü segmentasyon ile bina sınıfı oluşturulmuştur. Ayrıca Canny ve yoğunluk görüntüleri de bina sınıfı çıkarımında karışan objelerin ayırt edilmesi aşamasında segmentasyona dahil edilmiştir. Bu aşamada oluşturulan bina sınıfı yumuşatma, basitleştirme gibi işlem adımları uygulanarak bina iyileştirilmesi yapılmıştır. Sınıflandırma sonucunda bina, yeşil alan, zemin, bina sınırı sınıfı vb. hedef sınıflar oluşturulmuştur (Şekil.5). Oluşturulan diğer isimli sınıfta insan yapımı olan ve bina olmayan objeler yer almaktadır. Bina sınıfı dışındaki hedef sınıfların birleştirme işlemi sonucunda bina sınıfına ait sınıflandırılmış görüntü Şekil.6'da gösterilmiştir. Son aşamada ise otomatik olarak çıkarılan bina sınıfının poligon vektör veri şeklinde çıkarımı gerçekleştirilir.

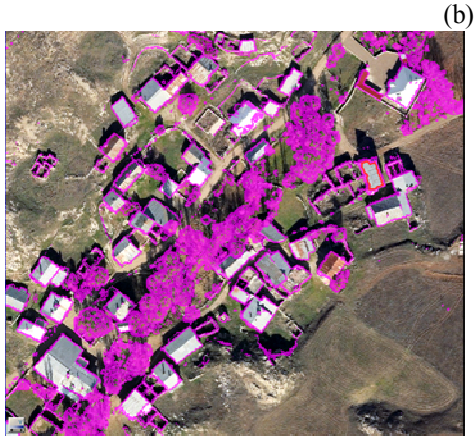
Çizelge 1. Önerilen yaklaşımda kullanılan yöntemler ve kurallar.

YÖNTEM	KURAL
Satranç tahtası segmentasyonu	Kullanılan görüntü = Ortofoto Oluşturulan sınıf = Çalışma alanı sınıfı Kullanılan özellik= Görüntü sınırına olan mesafe
Bant farkı işlemi	Kullanılan görüntü = Ortofoto Üretilen görüntü = Bant farkı görüntüsü
Kontrast farkı segmentasyonu	Kullanılan görüntü = Bant farkı görüntüsü Kullanılan özellik= Morfolojik operasyon
Bulanık mantık ile sınıflandırma	Kullanılan görüntü = Bant farkı görüntüsü Oluşturulan sınıf =Yeşil alan sınıfı
İstatistiksel değer hesaplaması	Kullanılan değer = Ortalama SYM Quantile değeri = [10](Ortalama SYM) Hesaplatılan değer= Quantile değeri _zemin
Bulanık mantık ile sınıflandırma	Kullanılan görüntü = SYM Kullanılan değer= Quantile değeri _zemin Oluşturulan sınıf=Zemin sınıfı
Eğim analizi	Kullanılan görüntü = SYM Üretilen görüntü = Eğim görüntüsü
Kontrast ayırma segmentasyonu	Kullanılan görüntü = Eğim görüntüsü Kullanılan değer= Kenar oranı
Sınıflandırma	Eşik değeri =Ortalama fark (ortalama SYM _Zemin) > = 1 Oluşturulan sınıf =Bina
Kontrast farkı segmentasyonu	Kullanılan görüntü = Intensity görüntü Eşik değeri = Ortalama intensity
Alan parametresi	Eşik değeri =Alan <= analiz değeri m^2 Kullanılan sınıf=Bina
Bölge genişletme	Kullanılan sınıf=Bina
Sınıflandırma	Kullanılan sınıf=Bina
Çoklu çözünürlüklü segmentasyon	Kullanılan görüntü = Ortofoto, Canny görüntüsü Bant ağırlıkları: R=1, G=1, B=1, Canny=5 Ölçek parametresi= 25, Şekil= 0.4, Renk= 0.5 Kullanılan sınıf=Bina
Yumuşatma	Kullanılan sınıf=Bina
Basitleştirme	Kullanılan sınıf=Bina
Sınıflandırma	Kullanılan sınıf=Bina
Sınıf birleştirme	Kullanılan sınıf =Yeşil alan, Zemin, Çalışma alanı sınırı
Bina çıkarımı	Kullanılan sınıf=Bina

	Çıkarılan vektör veri = poligon Çıkarılan öznitelik = Alan, Yükseklik bilgisi

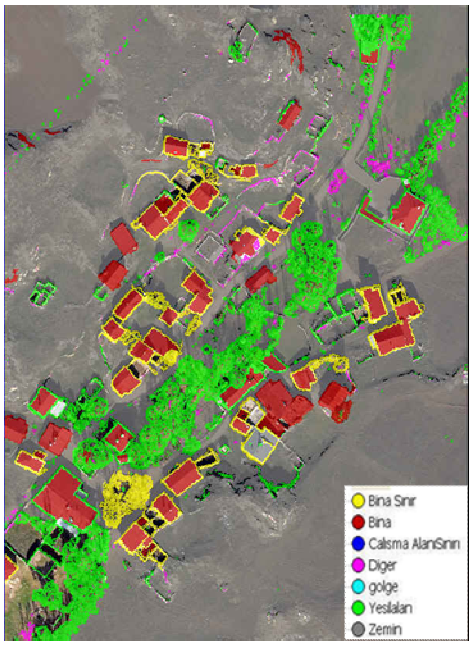


(a) (b)



(c)

Şekil 4. Segmentasyon: Satranç tahtası(a), kontrast farkı (b), çoklu çözünürlüklü (c).



Şekil 5. Kural-tabanlı sınıflandırma aşaması sonrası oluşan sınıflar.

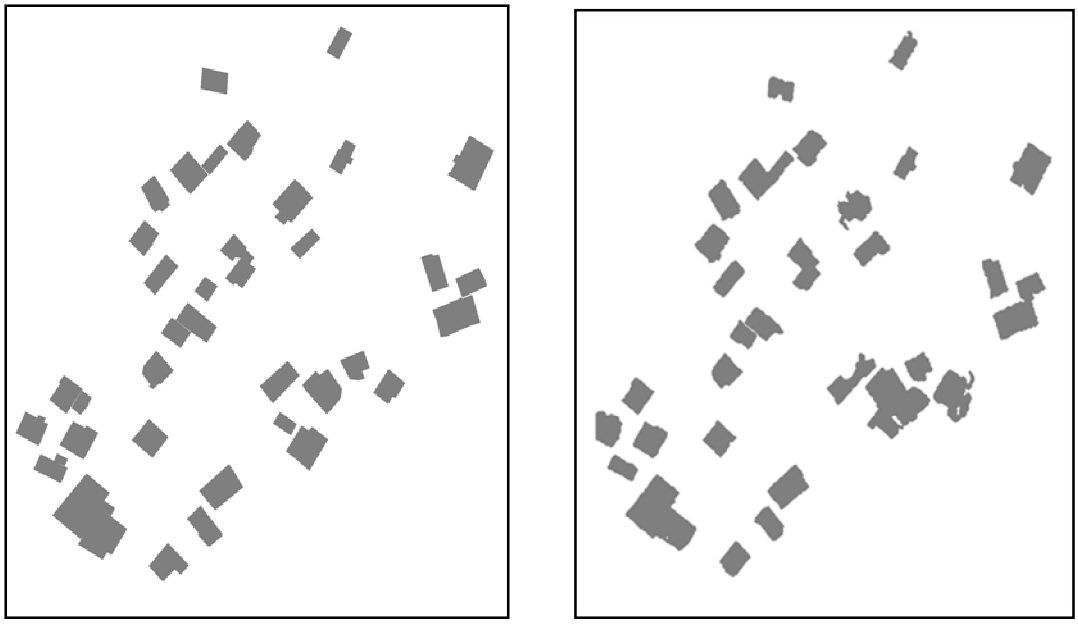
Şekil 6. Kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik çıkarılan bina sınıfı

Otomatik bina çıkarımında yaygın olarak kullanılan doğruluk analizi yöntemi, referans veri ile sınıflandırma sonucu otomatik çıkarılan bina sınıfının karşılaştırılmasıdır. Doğruluk analizi yöntemindeki temel yaklaşım Formül (1)'de verilen doğruluk ve bütünlük analizlerini içermektedir. Bu yönteme göre, TP doğru sınıflandırılarak çıkarılan piksel sayısı, FN referans veride var olan fakat otomatik çıkarılan sınıflandırmada eksik çıkarılan binalara ait piksel sayısı ve FP ise referans veride var olmadığı halde, otomatik çıkarılan sınıflandırmada yanlış çıkarılan binalara ait piksel sayısı olarak tanımlanır (Rutzinger vd., 2009). Sınıflandırma doğruluğunun analizi için kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik çıkarılan bina sınıfı kullanılarak vektör veri oluşturulur. Ayrıca, yüksek çözünürlüklü ortofoto kullanılarak manüel olarak çizilen binalar ile referans veri elde edilir (Şekil.7a). Bina sınıfının doğruluğu ise oluşturulan referans veri ile otomatik çıkarılan bina değerlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir (Şekil.7b). Önerilen yaklaşım sonucunda otomatik çıkarılan bina sınıfı için doğruluk analizi Formül (1)'e göre bütünlük %80 ve doğruluk %85 olarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} Bütünlük &= TP/(TP+FN) \\ Dogruluk &= TP/(TP+FP) \end{aligned} \qquad (1)$$

Burada;
TP= Doğru çıkarılan (True Positives)
FP= Yanlış çıkarılan (False Positives)
FN= Yanlış ve eksik çıkarılan (False Negatives)

objeleri ifade etmektedir.

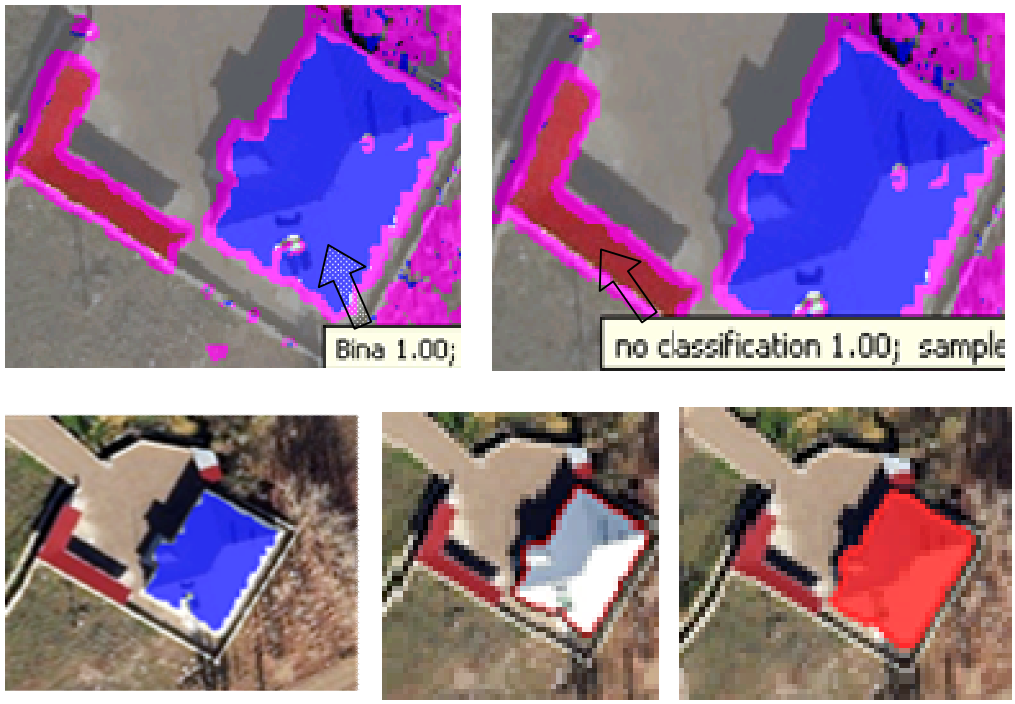


(a) (b)

Şekil 7. Bina sınıfı: Referans veri (a) ve otomatik çıkarılan bina sınıfı (b).

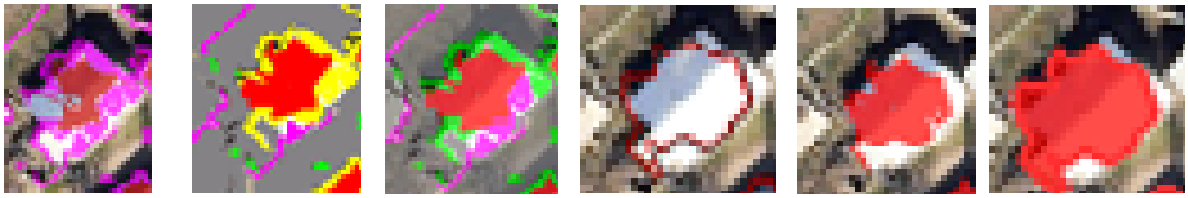
3.1 Önerilen Yaklaşımda Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Sayısal görüntülerde yaygın şekilde karşılaşılan önemli sorun bina olmayan objelerin bina olarak algılanmasıdır. Bu durum ülkemizde, kentsel alanlarda kurulan geçici pazar yerleri, ramazan eğlence ve fuar çadırları, güneşlik tenteleri ve serinlemek için oluşturulmuş alanlar, inşaat sahalarındaki konteyner, kulübe gibi objelerin bina olarak sınıflandırılmasına sebep olmaktadır. Bir benzer durum ise kırsal alanlardaki samanlık ve kerpiç duvarlarda söz konusudur. Bu şekilde karşılaşılan sınıf karışıklığı LiDAR ile elde edilen yükseklik bilgisi ve yoğunluk görüntüsü ile yapılan analizler sonucunda ortadan kalkmaktadır. Şekil 8'de çalışma alanına ait olan görüntüde bina olmadığı halde bina olarak algılanan objenin LiDAR verileri yardımıyla doğru bir şekilde sınıflandırılmasına örnek olarak verilmiştir.

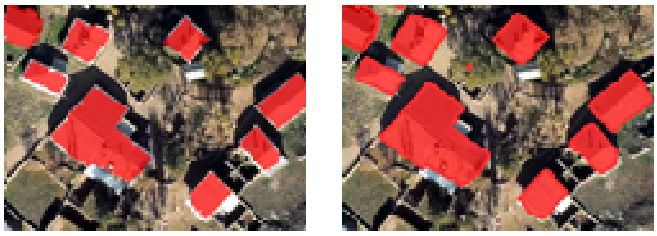


Şekil 8. Bina ile bina olmayan objelerin çıkarımındaki sınıf karışıklığına ilişkin bir örnek

Otomatik bina çıkarımında karşılaşılan bir diğer önemli sorun ise bina olan objelerin eksik ya da hiç çıkarılamama durumudur. Önerilen yaklaşımda, eksik çıkarılan binaların iyileştirilmesi için sayısal görüntü teknikleri ile bina sınırları genişletilerek daha doğru sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 9 ve Şekil 10). Bu gibi eksik bina sorunlarına çözüm üretilirken, yükseklik farkından doğan nedenlerden dolayı hiç çıkarılamamış bina mevcuttur.(Şekil 11). Bu bina sınıflandırma sonucunda doğruluk hata payı içinde kalmıştır.



Şekil 9. Eksik yakalanan binanın iyileştirme adımları



Şekil 10. Bina sınır değerinin genişletilmesi

Şekil 11. Çalışma alanında çıkarılamayan bina

Sınıflandırma doğruluğunu olumsuz yönde etkileyen diğer önemli durum ise yanlış çıkarılan objelerdir. Bina iyileştirme aşamasında LiDAR verisi ile bu sorunların çözümü gerçekleştirilmiştir. Uygulamada karşılaşılan çalışma alanında yanlış çıkarılan objenin bina sınıfından çıkarılması örneği Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 12.Çalışma alanında yanlış çıkarılan objenin bina sınıfından çıkarılması örneği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler kullanılarak, kural-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında önerilen bu yaklaşımla, çoklu algılama sistemden elde edilen sayısal yüzey modeli, yoğunluk görüntüsü ve ortofoto verileri kullanılarak kural seti geliştirilmiştir. Canny, eğim ve bant farkı görüntüsü üretilmiş, bu görüntüler otomatik bina çıkarımı için görüntü segmentasyonu ve bulanık mantığa dayalı nesne tabanlı sınıflandırma aşamalarında kullanılmıştır. Bina çıkarımında karşılaşılan hedef sınıfın diğer obje sınıfları ile karışması sorunu, aynı platforma yerleştirilen çoklu algılama sistemi ile elde edilen LiDAR nokta bulutu ve yoğunluk verisi, sayısal hava kamerası ile elde edilen sayısal hava fotoğrafları verilerinin birlikte kullanımı ve nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin ile geliştirilen kural seti ile giderilmiştir. Geliştirilen kurallar sonucu oluşturulan bina sınıfı için doğruluk analizi yapılmış ve sınıflandırma sonucu bütünlük %80 ve doğruluk %85 değerleri elde edilmiştir. Kullanılan veri setinin oldukça küçük bir alanı kapsamasından dolayı ve geliştirilen yaklaşımın geniş alanlar için revize edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde kentsel alanlara ilişkin geliştirilen kural seti kullanılarak, LiDAR verilerini temel alarak, sayısal görüntüler ile bina sınıfını iyileştirme işlemini gerçekleştiren bu yaklaşım ile

otomatik çıkarılan binalar, kaçak yapılaşmanın takibi ve önlenmesi, doğal afet ve kriz yönetimi gibi önemli birçok alanda kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

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

Baltsavias, E. P., 1999, Airborne Laser Scanning: Existing Systems And Firms And Other Resources, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54:164-198.

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.

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

Elberink, O., 2010, Acquisition of 3D Topography: Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps, *Ph.D. Thesis*, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enscheda, The Netherlands.

Elberink, O., 2010, Acquisition of 3D Topography: Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps, Ph.D. Thesis, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enscheda, The Netherlands.

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.

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

Habib, A., 2009, Integration of LiDAR and Photogrammetric Data:Triangulation and Orthorectification *Topographic Laser Ranging And Scanning, Principles and Processing, Edited by Jie Shan and Charles K. Toth*,.600., Chapter 13,371-400.

Heipke, C., 1996. Overview of Image Matching Techniques, *OEEPE Workshop on the Application of Digital Photogrammetric Workstations, Part III,* Lausanne, Switzerland.

Höfle, B., Geist, T., Rutzinger, M., Pfeifer, N., 2007, Glacier Surface Segmentation Using Airborne Laser Scanning Point Cloud and Intensity Data, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* Vol. XXXVI, Part 3/W52, Espoo, Finland, 195-200.

Hu, Y., 2003, Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data, *Ph.D. Thesis*, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary.

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.

Kalkan, K., Maktav, D., 2010, Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS Örneği). III. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Kocaeli.*

Korpela, I., Ørka, H. O., Heikkinen, V., Tokola, T., Hyyppä, J., 2010, Range- and AGC Normalization of LIDAR Intensity Data For Vegetation Classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (65):369−379.

Kraus, K., 1997, Restitution Of Airborne Laser Scanner Data Inwooded Areas, *Proceedings of the EARSeL 3rd Workshopon Laser Remote Sensing of Land and Sea*, Tallinn, Estonia, 97–104.

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.

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

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

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.

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., 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.

Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., 2007, Building Detection By Fusion of Airborne Laser Scanner Data and Multi Spectral Images: Performance Evaluation and Sensitivity Analysis, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 135-149.

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*, http://www.commission3.isprs.org/wg4/

Schenk, T., 1999, *Digital Photogrammetry*, Terra-Science, Laurelville, Ohio.

Sithole, G., 2005, Segmentation And Classification Of Airborne Laser Scanner Data, *Ph.D. Thesis*, University of Delft, Publications on Geodesy, The Netherlands.

Sithole, G., Vosselman, G., 2006, Bridge Detection İn Airborne Laser Scanner Data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (61), pp. 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.

Vosselman, G., 2000, Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data, *IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 935-942.

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,* Vol. 4(1), pp. 83-91.

Yao, W., Stilla, U., Wu, J., Hinz, S., 2011, Investigation on the performance of velocity estimation of vehicles from airborne LiDAR data, *Urban Remote Sensing Event (JURSE),*pp. 5-8.

Zhoua, G., Songa, C., Simmersb, J., Cheng, P., 2004, Urban 3D GIS From LiDAR and Digital Aerial Images, *Computers & Geosciences* (30), 345–353.