

## LiDAR ve Hava Fotoğrafları ile Otomatik Bina Çıkarımı

Melis UZAR<sup>1</sup>, Naci YASTIKLI<sup>2</sup>

### Özet

Kent yönetiminde, kontrol ve karar verme süreçlerinde yapılaşmanın izlenmesi ve mevcut durum tespiti ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemizde, kaçak yapılaşmanın önlenmesi ve yapı denetimi gibi hususlar binaların klasik ölçme yöntemleri ve fotogrametrik üretim süreçlerine gerek duyulmadan otomatik bina çıkarımının önemini artırmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, kentsel alanlarda insan yapımı objelerin özellikle binaların ve yolların otomatik çıkarımı üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalar çoğunlukla klasik yöntemler ile elde edilen hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. Yeni ve aktif bir algılama sistemi olan LiDAR, yeryüzeyi ve üzerindeki objelere ilişkin binlerce nokta üretebilmekte ve otomatik bina çıkarımına yeni imkanlar sunmaktadır. Bu çalışmada, LiDAR ve sayısal hava fotoğrafları verileri ile otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile farklı segmentasyon yöntemleri ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Bina çıkarımı sonuçlarını iyileştirmek amacıyla mevcut veriler kullanılarak Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Hough dönüşümü ve Eğim analizi yöntemleri ile görüntüler MATLAB 7.0 programlama dili kullanılarak hazırlanan uygulama yazılımları ile üretilmiştir. Otomatik bina çıkarımı, Definiens e-Cognition Developer 8.64 ortamında kural setleri ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım ile otomatik olarak çıkarılan binalar referans verilerle karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

### Anahtar Sözcükler

LiDAR, Segmentasyon, Hough, Bulanık-mantık, Sınıflandırma

### Abstract

#### Automatic Building Extraction with LiDAR and Aerial Photographs

The monitoring of the construction activities and current situation needs increasing day by day for urban management in control and decision-making process. The automatic extraction of the building is become more important in our country which is on the earthquake zone, for prevention of illegal construction and building inspection issues without the need for traditional measurement methods and photogrammetric production processes. The recent research activities are focused on the automatic extraction of man-made objects, especially buildings and roads. These research studies have been made using the aerial photographs and satellite images which is acquired by classical method. The new and active sensor system LiDAR, can produce thousands of points belonging to earth surface and serve new possibilities for building extraction. In this study, the automatic building extraction possibilities were investigated

with LiDAR data and digital aerial photographs. For this purpose, different segmentation and fuzzy-logic classification methods have been used based on the object-based classification method. The images are produced using NDVI, Hough transform and slope analysis methods to improve extraction results using MATLAB 7.0. The automatic building extraction is performed by the rule set which were developed under Definiens e-Cognition Developer 8.64 program. The accuracy assessment of automatic extracted buildings with suggested approach has been performed by comparing the extracted buildings with the reference data.

### Key Words

LiDAR, Segmentation, Hough, Fuzzy-logic, Classification

### 1. Giriş

Kentlerin, sağlıklı ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmesi insan yaşamında önemli bir etkidir. Bu sebeple, yaşam kalitesinin artırılması ve daha iyi bir kent yönetimi için güncel mekansal veriye ihtiyaç vardır. Özellikle insan yapımı objelere ait bilgilerin, hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesi kent planlama ve kentin gelişimine ilişkin kritik kararların verilmesinde önemli rol oynamaktadır. Kentsel alanlardaki bina, yol ve yeşil alan gibi objelerin otomatik çıkarımı çeşitli altyapı projelerinin planlanması, nüfus hareketliliğinin incelenmesi, kaçak yapılaşmanın izlenmesi ve önlenmesi için oldukça önemlidir. Özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemizde deprem sonrası acil afet planlaması, kurtarma çalışmalarının yönlendirilmesi için binaların sürekli izlenmesi kritik bir öneme sahiptir.

Bina, yol, yeşil alan vb. objelerin otomatik çıkarımı, fotogrametri ve bilgisayar görüntüleme çalışma gruplarının önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Otomatik obje çıkarımındaki geleneksel yaklaşım, hava fotoğrafları kullanılarak piksel tabanlı görüntü işleme ve sınıflandırma yöntemleri ile obje çıkarımıdır. Bu klasik yaklaşımda, karşılaşılan temel sorun, çıkarılması hedeflenen obje ile diğer sınıfların karışmasıdır. Buna ek olarak hava fotoğraflarının görsel niteliği, gölge ve kontrast özellikleri obje çıkarımının kalitesini doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda sadece hava fotoğraflarını kullanarak obje çıkarımı (AMERI 2000) yerine, çok bantlı görüntüler (HAALA ve BRENNER 1999), LiDAR algılama sistemi ile elde edilen nokta bulutu (SITHOLE 2005) ve özellikle bu verilerin birlikte kullanımı (ROTTENSTEINER vd.2007, PENG vd. 2005, ELBERINK 2010) ile otomatik obje çıkarımı üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, tek bir algılama sisteminden elde edilen veriler yerine hava fotoğrafları, LiDAR ile elde edilen nokta bulutu ve GPS\IMU ile elde edilen dış yöneltme elemanları

<sup>1</sup> Arş. Gör., <sup>2</sup> Doç. Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler/İstanbul

kullanılarak otomatik bina çıkarımı hedeflenmiştir. Bu amaçla piksel tabanlı görüntü işleme ve sınıflandırma yöntemleri yerine nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntem ve teknik yaklaşımın detayları bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Uygulama bölümünde ise, bütünlük sistem ile elde edilen veri setinin özellikleri, uygulanan nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin detayları verilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve analizler yapılmıştır. Bu sonuçlar ışığında farklı algılama sistemlerinin bütünlük kullanımının sağladığı olanaklar sonuç ve öneriler kısmında irdelenmiştir.

## 2. Yöntem

Objeye çıkarımının amacı nokta, kenar ve bölgelerin anlamlı bir şekilde organize edilmesi, gruplandırılması ve uygun formda temsil edilmesidir (VOSELMAN vd. 2004). Geleneksel yaklaşım olan piksel tabanlı görüntü analiz yönteminde, sadece pikselin spektral değeri kullanılır. Ancak bu yaklaşımın başarısı benzer spektral bilgilere sahip objelerde sınırlıdır (YAN 2003). Bu durum sınıflandırma işleminin doğruluğunu olumsuz etkiler. Kentsel alanlardaki bina, yol ve yeşil alan gibi objelerin çıkarımı oldukça karmaşık bir sınıflandırma problemidir. Bu problemin çözümünün geleneksel piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yapılması mümkün değildir ve bu nedenle nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edilir.

Nesne tabanlı analiz yönteminde spektral bilgiler ve objeye ilişkin doku, şekil ve komşuluk ilişkisi gibi parametreler birlikte kullanılır. Sonuç olarak elde edilen doğruluk, piksel tabanlı yöntemlere göre daha yüksektir (NAVULUR 2007). Bu analiz yöntemi segmentasyon ve sınıflandırma olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Segmentasyon aşamasında, görüntü homojen obje kümelerine; ölçek, bütünlük, şekil, eğim vb. özellikleriyle ayrılır. Bu özellikler ile amaca uygun belirlenen aralık değerleri ve ağırlık parametreleri kullanılarak farklı seviyelerde segmentler üretilir (DASH vd. 2004). Oluşturulan segmentler anlamlı bölgeleri ifade eder ve birbirleri ile ilişkisi yoktur. Seçilen örnek bir piksele ilişkin parametre değeri, diğer tüm yönlerdeki pikseller ile karşılaştırılarak benzer özellikteki pikseller aynı bölge içine alınır. Segmentlerin, objeleri doğru temsil etmesi için çoklu çözümlü, kontrast ayırma, satranç tahtası vb. segmentasyon yöntemleri kullanılır. Bu segmentler ölçek parametresi, şekil, bütünlük, parlaklık, kontrast farkı ve istatistik parametre değerlerine göre oluşturulur (NAVULUR 2007). Segmentasyon yöntemleri ayrıca LiDAR ile elde edilen nokta bulutu (SITHOLE2005) ve çok bantlı spektral görüntüler (ROTTENSTEINER vd. 2005a) kullanılarak da uygulanabilir.

Nesne tabanlı analiz yönteminin sınıflandırma aşamasında, objeleri temsil eden segmentler; komşuluk ilişkisi, morfolojik ilişkiler, alan, yükseklik değeri, mesafe, geometrik şekil, standart sapma, yoğunluk vb. değerleri kullanılarak analiz edilir ve hedef sınıflara atanır. Bu değerler, bina (DEMİR vd. 2009), yeşil alan (HAALA ve BRENNER 1999) ve yol (ELBERINK 2010) sınıfının çıkarılmasında kullanılır. Spektral değerleri birbirine çok yakın olan objelerin sınıflandırılmasında bulanık mantık yöntemi kullanılır (ROTTENSTEINER ve CLODE 2009).

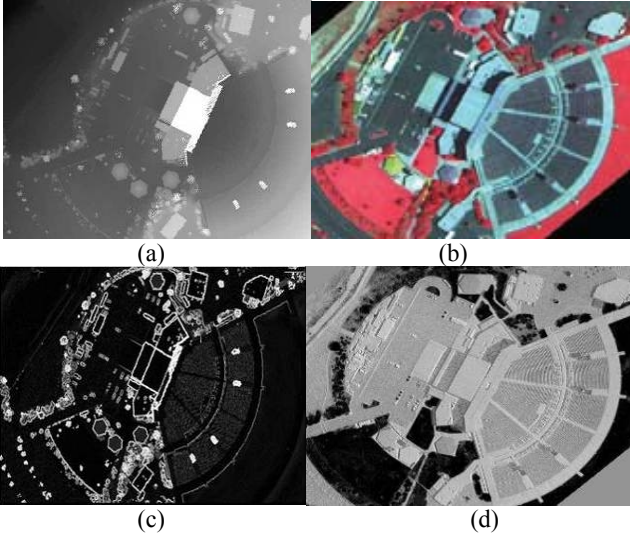
Bina çıkarımında en çok karşılaşılan sorun bina sınıfının, diğer sınıflar ile karışmasıdır. Bu sorunun çözümü için farklı yaklaşım ve yöntemler izlenmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak görüntü üzerinde uygulanan Hough dönüşümü (HOUGH 1962), Ransac algoritması (TARSHA-KURDI vd. 2007) Eğim analizi yöntemi (ZEVENBERGEN ve THORNE 1987), Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) yöntemi (ROTTENSTEINER vd. 2007), Dempster Shafer metodu (ROTTENSTEINER ve CLODE 2009), Snake metodu (KABOLIZADE vd. 2010, PENG vd. 2005), Douglas Peucker algoritması (ZHANG vd. 2009) vb. yöntemler verilebilir. Bu yöntemlere ek olarak, kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerinden ISO DATA (RICHARDS 1999, HAALA ve BRENNER 1999) ve K means algoritması gibi farklı sınıflandırma yöntemleri de bina çıkarımında tercih edilir. Bu alternatif yöntemlerden biri veya birkaçı birlikte kullanılarak nesne tabanlı analiz yönteminde kurallar geliştirilerek sınıflar oluşturulur. Daha öncede ifade edildiği gibi otomatik bina çıkarımında çok sık karşılaşılan sorun sınıfların birbirine karışmasıdır. Bina sınıfı ile yeşil alan sınıfı ayırımında NDVI yöntemi tercih edilir. Bu yöntem ile yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant farkının yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant toplamına oranı ile yeni bir görüntü elde edilir. Bitki örtüsünün kızılötesi bantta yüksek, görünür kırmızı bantta düşük yansıma değeri kullanılarak yeşil alan ve bina sınıfı birbirinden ayrılır. Karışan sınıfların birbirinden ayrılmasında diğer bir yöntem sayısal yüzey modeli kullanılarak eğim görüntüsünün oluşturulmasıdır (ZEVENBERGEN ve THORNE 1987, ROTTENSTEINER vd. 2005b).

## 3. LiDAR ve Hava Fotoğrafları ile Bina Çıkarımı

Bu çalışmada otomatik bina çıkarımı, aynı platform üzerine yerleştirilen çoklu algılama sistem verileri olan LiDAR ve hava fotoğrafları ile nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon ve sınıflandırma adımları sonrasında elde edilen bina sınıfı referans veri ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmış, izlenen yaklaşımın doğruluğu test edilmiştir. Otomatik bina çıkarımına ilişkin çalışma alanı ve veriler, izlenen yaklaşım ve elde edilen doğruluk ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

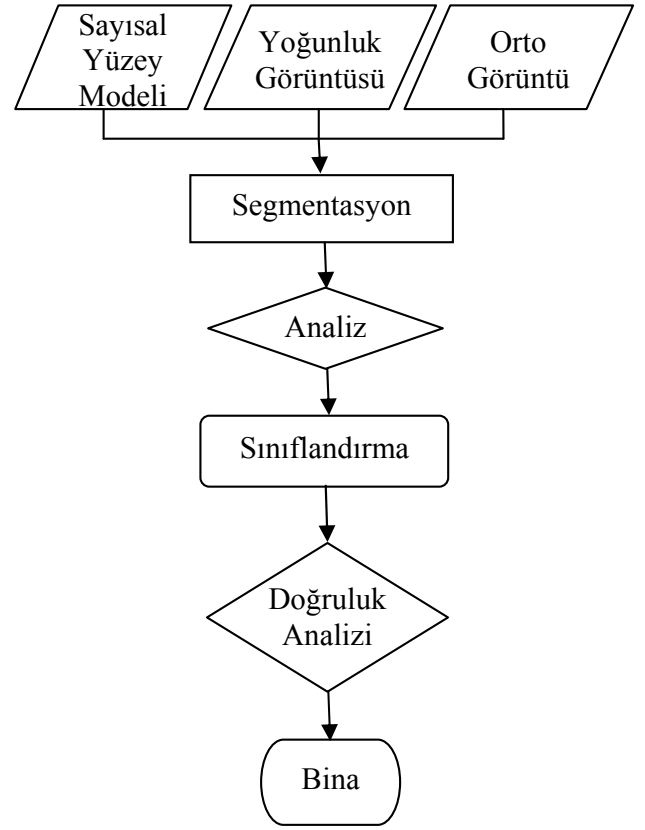
Bu çalışmanın uygulama aşamasında, Amerika Birleşik Devletleri Güney Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan San Andreas ve San Jacinto Fay hatlarının LiDAR algılama sistemi ile izlenmesi amaçlı, "B4" isimli proje verileri kullanılmıştır. National Science Foundation (NSF) sponsorluğunda, Ohio State Üniversitesi (OSU) ve U.S. Geological Surveys (USGS) ortak çalışması ile gerçekleştirilen bu projede, LiDAR nokta bulutu, sayısal hava kamerası ile elde edilen yapay renkli görüntüler (CIR) ve kamera ile ilişkin dış yöneltme elemanları üretilmiştir (CSANYI ve TOTH 2007). Çalışma alanına ilişkin LiDAR verileri kullanılarak 0.2m çözünürlüğe sahip sayısal yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 1a). Üretilen sayısal yüzey modeli, yapay renkli görüntüler ve dış yöneltme elemanları kullanılarak 0.2 m yer örnekleme aralığına sahip ortogörüntüler üretilmiştir (Şekil 1b). Karışan sınıfların birbirinden ayrılması için sayısal yüzey modeli kullanılarak

eğim analiz yöntemi ile eğim görüntüsü ve ortogörüntüler kullanılarak NDVI görüntüsü MATLAB programlama dilinde hazırlanan uygulama programları kullanılarak üretilmiştir (Şekil 1c ve 1d).



Şekil 1: Sayısal yüzey modeli (a), orto-görüntü (b) eğim görüntüsü (c) ve NDVI görüntüsü (d)

LiDAR nokta bulutu, sayısal hava kamerası ile elde edilen yapay renkli görüntüler (CIR) ve kameraya ilişkin dış yöneltme elemanları kullanılarak otomatik bina çıkarımına ilişkin işlem adımları Şekil 2’de verilmiştir. Otomatik bina çıkarımı için nesne tabanlı görüntü analizi ve kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile Definiens e-cognition Developer 8.64 yazılımı kullanılarak kurallar oluşturulmuştur. Segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarında farklı yaklaşımlar kullanılarak bina, yeşil alan, zemin, diğer vb. sınıflar üretilmiştir. Yeşil alan sınıfı için, NDVI görüntüsündeki yeşil alan ve bitki örtüsünü temsil eden minimum ve maksimum endeks aralıkları belirlenerek, bulanık mantık yöntemiyle yeşil alan sınıfı oluşturulmuştur ve iyileştirme için morfolojik filtreler kullanılmıştır. Çıplak yeryüzünü temsil eden zemin sınıfı, sayısal yüzey modeli ve istatistiksel hesaplamalar sonucu oluşturulmuştur. Bina sınıfı, sayısal yüzey modeli ile zemin sınıfı farkı alınarak oluşturulmuştur. Bina sınıfı, yoğunluk görüntüsü ve eğim görüntüsüne uygulanan kontrast ayırma segmentasyon yöntemi ve yapay renkli görüntüye uygulanan çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi ile iyileştirilmiştir. Bina sınıfının oluşturulması için geliştirilen kural seti Tablo 1’de verilmiştir.



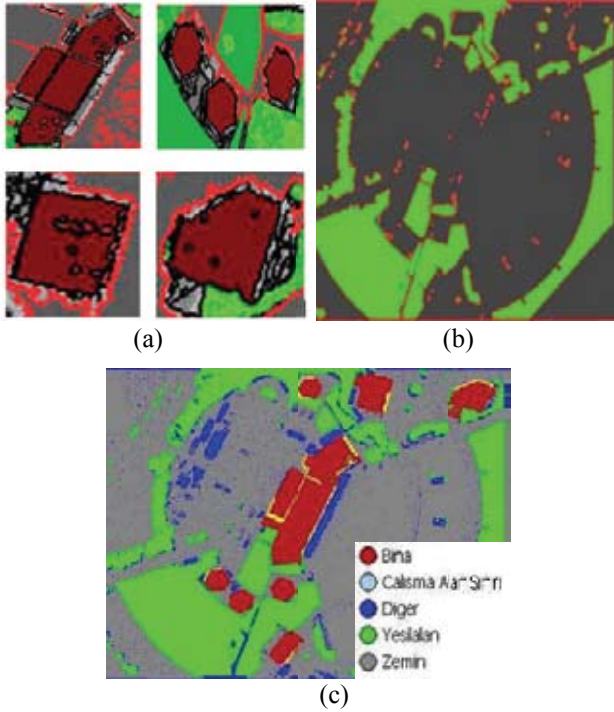
Şekil 2: Otomatik bina çıkarımı işlem adımları

Tablo 1: Bina sınıfı kural seti

Yöntem	Kural Seti
Kontrast ayırma segmentasyonu	MİNimum eşik değeri = 120 Maksimum eşik değeri= 200 Adım sayısı=25 Görüntü katmanı = Eğim Görüntüsü
Kontrast ayırma segmentasyonu	Görüntü katmanı = Yoğunluk Görüntüsü
İstatistiksel değer hesaplaması	Sıklık derecesi= [10](Mean SYM) Değer="sıklık derecesi _ zemin" Katman="Mean SYM"
Bina sınıfı	Eşik değeri =MeanDiff Mean SYM _Zemin>= 1
Alan parametresi	Eşik değeri =Alan <= 95 m2
Çoklu çözünürlüklü segmentasyon	Bant ağırlıkları: Layer 3=1, Layer 4=1 Layer 5=1, Layer 6=1 Ölçek parametresi= 25, Şekil= 0.4, Bütünlük= 0.5
Bina sınıfı	Eşik değeri = Mean yoğunluk
Bina sınıfı	Görüntü katmanı =Hough Görüntüsü

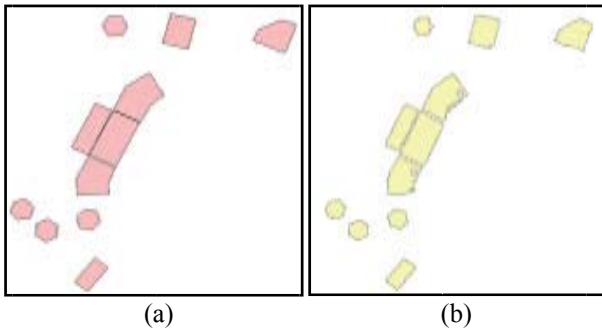
Otomatik bina çıkarımı için Şekil 2’de verilen işlem adımları gerçekleştirilerek, herbir sınıf için geliştirilen yaklaşım ve kural setleri ile yapılan sınıflandırma sonucunda, bina sınıfı

ile birlikte yeşil alan, zemin vb. hedef sınıflar oluşturulmuştur (Şekil 3a, 3b ve 3c). Çalışma alanındaki insan yapımı olan ve bina olmayan objeler örneğin taşınabilir konteyner ve ufak alana sahip güvenlik kulübeleri bina sınıfına dahil edilmemiş diğer isimli sınıfa atanmıştır.



Şekil 3: Sınıflandırma aşaması sonrası oluşan bina sınıfı (a), yeşil alan sınıfı (b) ve diğer sınıflar (c)

Nesne tabanlı sınıflandırma işlemi sonrasında oluşturulan sınıfların doğruluk analizi, kural seti geliştirmek için kullanılan yazılımının içerdiği doğruluk analizi yöntemlerinden “Error Matrix based on TTA Mask” yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir sınıf için seçilen örnek segmentler ile görüntüdeki sınıflandırılmış segmentlerin uyumu test edilmiş ve %94 genel doğruluk seviyesine ulaşılmıştır. Otomatik olarak çıkarılan binaların alansal özelliklerinin de karşılaştırılması için ortogörüntü üzerinden çalışma alanındaki binalar sayısallaştırılarak referans veri oluşturulmuştur (Şekil.4). Referans verideki binalar ile otomatik olarak sınıflandırma sonucu elde edilen binaların alanları karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Bu yöntemle ilk yöntemden daha yüksek %96 genel doğruluk değeri elde edilmiştir.



Şekil 4: Bina sınıfı için oluşturulan referans veri (a) ve otomatik çıkarılan bina sınıfı (b)

Tablo 2: Bina sınıfı için doğruluk analizi

Bina No	Referans (m <sup>2</sup> )	Sınıflandırma (m <sup>2</sup> )	Doğruluk (%)
1	140.42	152.74	91.9
2	302.77	306.32	98.8
3	323.74	328.22	98.6
4	519.83	515.99	99.3
5	551.58	556.35	99.1
6	352.39	339.51	96.3
7	406.27	339.19	83.5
8	137.07	147.40	93.0
9	197.08	198.30	99.4
10	140.75	138.05	98.1
11	136.98	131.48	96.0

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, otomatik bina çıkarımı LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU’ dan oluşan algılama sistemleri ile toplanan veriler kullanılarak nesne-tabanlı görüntü analiz yöntemi ile segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Otomatik bina çıkarımının doğruluğunun artırılması amacıyla bina sınıfı ile diğer sınıfların birbirinden ayrılması için Hough, eğim ve NDVI görüntüsü üretilmiştir. Çalışma alanı özellikleri dikkate alınarak belirlenen parametrelerle yapılan analizler sonucu bina sınıfına ek olarak yeşil alan, zemin vb. sınıflar için kural setleri geliştirilmiş ve bu sınıflarda çıkarılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımına ilişkin doğruluk analiz iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiş ulaşılan genel doğruluk %94 ve %96 olarak belirlenmiştir. Geliştirilen yaklaşım ve kural setleri oldukça küçük bir alanı kapsamakla birlikte geniş alanlar için revize edilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Ülkemizde özellikle büyük kentlerdeki planlama ve kentin gelişimine ilişkin kritik kararların verilmesi, kentin gelişim akslarının belirlenmesi, kaçak yapılaşmanın izlenmesi ve önlenmesi, ormanların korunması için güncel mekansal verilere ihtiyaç vardır. Kentsel alanlardaki bina, yol, yeşil alan vb. objeler kent yönetimine ilişkin kararlardan doğrudan etkilenen yada kritik kararları doğrudan etkileme potansiyeline sahip mekansal verilerdir. Bu verilerin otomatik olarak çıkarılması kent yönetimi yanında başta İstanbul olmak üzere deprem kuşağında yer alan birçok kent için mevcut bina sayılarının belirlenmesi, depreme ilişkin acil afet planlaması, kurtarma çalışmalarının yönlendirilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım ve kural setleri büyük kentler için revize edilebilir ve birçok uygulamada kullanılabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veri setini sağladıkları için Ohio State Üniversitesine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- AMERI B.: **Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings from Digital Imagery**, PhD Thesis, German Geodetic Commission 526, Institute of Photogrammetry, Stuttgart University, 2000.
- CSANYI N., TOTH C.: **Improvement of LiDAR Data Accuracy Using LiDAR Specific Ground Targets**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 4, s.385-396, 2007.
- DASH J, STEINLE E, SINGH R. P., BÄHR H. P.: **Automatic Building Extraction from Laser Scanning Data: An Input Tool For Disaster Management**. Advances in Space Research, 33, 2004
- DEMİR N., POLI D., BALTSAVIAS E.: **Detection of Buildings at Airport Sites Using Images & Lidar Data and a Combination of Various Methods**, IAPRS, Vol. 38, Part 3/W4, s.71-77, Paris, France, 2009
- ELBERINK O.: **Acquisition of 3D Topography: Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps**, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, PhD Thesis, 2010.
- HAALA N., BRENNER C.: **Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54, s. 130-137, 1999.
- HOUGH P.: **Methods and Means for Recognizing Complex Patterns**. U.S. Patent 3,069,654, 1962.
- KABOLIZADE M., EBADI H., AHMADI S.: **An Improved Snake Model for Automatic Extraction of Buildings from Urban Aerial Images and Lidar Data**. Computers, Environment and Urban Systems, 2010.
- NAVULUR K.: **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, 2007.
- PENG J., ZHANG D., LIU Y.: **An Improved Snake Model For Building Detection from Urban Aerial Images**. Pattern Recognition Letters, 26, s. 587-595, 2005.
- RICHARDS J.A.: **Remote Sensing and Digital Image Analysis**. Springer-Verlag, Berlin, 1993
- ROTTENSTEINER F., CLODE S.: **Building and Road Extraction by LiDAR and Imagery**. Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and processing. Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-4200-5142-1, s. 445-478, 2009.
- ROTTENSTEINER F., TRINDER J., CLODE S., KUBIK K.: **Building Detection by Fusion of Airborne LaserScanner Data and Multi Spectral Images: Performance Evaluation and Sensitivity Analysis**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 62, s. 135-149, 2007.
- ROTTENSTEINER F., TRINDER J., CLODE S., KUBIK K.: **Using The Dempster-Shafer Method For The Fusion Of LIDAR Data And Multi-Spectral Images For Building Detection**, Information Fusion 6, s. 283-300, 2005a.
- ROTTENSTEINER F., SUMMER G., TRINDER J., CLODE S., KUBIK K.: **Evaluation of a Method For Fusing LIDAR Data And Multispectral Images For Building Detection**, IAPRS 36 (Part 3/W24), s.1520, 2005b.
- SITHOLE G.: **Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data**. Ph.D. Thesis. University of Delft. The Netherlands. Publications on Geodesy, 59, 2005.
- TARSHA-KURDI F., LANDES T., GRUSSENMEYER, P.: **Hough Transform and Extended RANSAC Algorithms For Automatic Detection Of 3D Building Roof Planes From Lidar Data**. IAPRS, Vol. 36, Part 3/ W52. s.407-412, 2007.
- VOSELNMAN G., SESTER M., MAYER H.: **Basic Computer Vision Techniques**. Manual Of Photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Fifth edition. s. 455-504, 2004.
- YAN G.: **Pixel Based and Object Oriented Image Analysis for Coal Fire Research**. MasternThesis. ITCThe Netherlands, 2003.
- ZEVENBERGEN L., THORNE C.: **Quantitative Analysis of Land Surface Topography**, Earth Surface Processes and Landforms 12, s. 47-56, 1987.
- ZHANG K., YAN J., CHEN S.: **A Framework for Automated Construction of Building Models from Airborne LiDAR Measurements**. Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and processing. Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-4200-5142-1, s. 511-534, 2009.