T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNE TABANLI SEGMENTASYON YÖNTEMİ İLE LiDAR VERİLERİNDEN OBJE ÇIKARIMI

EDA SOYLU SENGÖR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. NACİ YASTIKLI

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNE TABANLI SEGMENTASYON YÖNTEMİ İLE LİDAR VERİLERİNDEN OBJE ÇIKARIMI

Eda SOYLU SENGÖR tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Naci YASTIKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Naci YASTIKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca benden desteğini ve bilgilerini esirgemeyen, uzayan tez dönemim boyunca anlayışlı olan ve bana olan inancını kaybetmeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Naci YASTIKLI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Bu tez çalışmasında kullanılan veri setini sağladıkları için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince işyerinde bana göstermiş oldukları anlayış ve hoşgörüden dolayı başta daire başkanım Dursun Yıldırım BAYAR ve müdürüm Hakan GÜVEN ile şube arkadaşlarım Harun, Buket, Gülenay ve Bestami'ye, uygulamaları gerçekleştirmemde desteklerini esirgemeyen Erdem ÖZER'e teşekkür ederim.

Tezim süresince beni yüreklendiren ve her türlü desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili eşim Murat SENGÖR'e ve yaramazlıklarıyla çalışmalarıma katılmaya çalışan, tezim sebebiyle 1,5 yaşında ders çalışmayı öğrenen ve hayatıma renk veren oğlum Alaz SENGÖR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı gerçekleştirirken büyük desteklerini ve yardımlarını gördüğüm canım kardeşim Ela YEŞİLYURT ve eşi Harun YEŞİLYURT'a teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, her zaman destekleyen, her daim yardımıma koşan ve bana inanan canım annem Hürriyet SOYLU ve canım babam Mübah SOYLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitiminde yola birlikte çıktığım sevgili arkadaş ve meslektaşlarım Deniz, Gülten, Tuğçe ve Çağla'ya birlikte biriktirdiğimiz bütün anılar için teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince moral ve motivasyon kaynağı olan, tecrübeleriyle her zaman yol gösteren ablalarım Özlem TOPUZ ve Sibel ERDEN ile ailelerine teşekkür ederim.

Temmuz, 2019

Eda SOYLU SENGÖR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 5
1.2 Tezin Amacı 9
1.3 Hipotez 10

BÖLÜM 2

LİDAR 11

2.1 LiDAR Çalışma Prensibi 16
2.2 LiDAR Uygulama Alanları 17
2.3 Ortofoto 19
2.4 Çoklu Algılama Sistemi 20

BÖLÜM 3

OBJE ÇIKARIMI 23

3.1 Obje Çıkarımında Görüntü Analiz Yöntemleri 25
3.1.1 Filtreleme 26
3.1.2 Segmentasyon 28
3.1.3 Sınıflandırma İşlemi ve Yöntemleri 30
3.1.3.1 Doğruluk Analizi 32

3.2 LiDAR Verilerinden Obje Çıkarımı 33
3.2.1 LiDAR Verilerinin Filtrelenmesi 34
3.2.2 LiDAR Verilerinin Segmentasyonu ve Sınıflandırılması 37

BÖLÜM 4

NESNE TABANLI SEGMENTASYON YÖNTEMİ İLE LiDAR VERİLERİNDEN OBJE ÇIKARIMI 38

4.1 Çalışma Alanı, Kullanılan Veri Seti ve Kullanılan Yazılımlar 39
4.2 Kural Setleri ile Obje Çıkarımı 42
4.2.1 LiDAR Nokta Bulutunun Filtrelenmesi 42
4.2.2 Yaklaşım 1: LiDAR Nokta Bulutu Verisinden Obje Çıkarımı 49
4.2.2.1 Segmentasyon İşlemi 50
4.2.2.2 Sınıflandırma İşlemi 51
4.2.3 Yaklaşım 2: LiDAR Nokta Bulutu ve Ortofoto Verilerinin Bütünleşik Kullanımı ile Obje Çıkarımı 57
4.2.3.1 Segmentasyon İşlemi 58
4.2.3.2 Sınıflandırma İşlemi 62
4.3 Doğruluk Analizi 75
4.3.1 Yaklaşım 1 için Doğruluk Analizi 76
4.3.2 Yaklaşım 2 için Doğruluk Analizi 77

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 79

KAYNAKLAR 82

ÖZGEÇMİŞ 86

SİMGE LİSTESİ

N	Hata matrisindeki toplam nokta sayısı
r	Sınıf sayısı
x_{i+}	Satır Toplamı
x_{+i}	Sütun Toplamı
x_{ii}	Hata matrisi köşegen elemanları
K	Kappa
N	Örnek sayısı
p	Beklenen yüzde doğruluğu
Z	Çift taraflı normal dağılımdan gelen güven aralığı değeri
e	İzin verilen hata yüzdesi

KISALTMA LİSTESİ

ALS	Airborne Laser Scanning
CAD	Computer Aided Design
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCD	Charge Couple Device
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
LADAR	Laser Detection and Ranging
LAS	Log ASCII Standard
LiDAR	Light Detection And Ranging
NDVI	Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
n-YM	Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangulated Irregular Network
USGS	The U.S. Geological Survey
YM	Sayısal Yüzey Modeli
3B	Üç Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Lazer tarama teknolojisi [27] 11
Şekil 2.2 LiDAR nokta bulutu 2B görüntüsü 12
Şekil 2.3 LiDAR nokta bulutu 3B görüntüsü 13
Şekil 2.4 LiDAR noktalarının yüzey üzerinde gösterimi 13
Şekil 2.5 Çoklu yansıma özelliği [28] 14
Şekil 2.6 e-Cognition yazılımında nokta bulutu çoklu yansıma öznitelikleri [29] 14
Şekil 2.7 Zeminden yansıyan nokta bulutu (a) ve ilk ve son yansımaların birlikte bulunduğu nokta bulutu (b) 14
Şekil 2.8 Sadece (X,Y,Z) (a) ve (X,Y,Z, yoğunluk) (b) verilerine bir örnek [31], [4] 15
Şekil 2.9 Lazer tarama sistemi bileşenleri [32], [4] 16
Şekil 2.10 LiDAR kullanım alanları – Akarsu izleme, değerlendirme 18
Şekil 2.11 LiDAR kullanım alanları – Enerji hattı 18
Şekil 2.12 LiDAR kullanım alanları – Sayısal raylı sistem haritası 18
Şekil 2.13 YM ve SYM örnekleri [34] 19
Şekil 2.14 Üçgenlenmiş düzensiz ağlar [35] 19
Şekil 2.15 Çoklu algılama sistemi [38] 20
Şekil 2.16 Çoklu algılama sisteminden elde edilmiş hava fotoğrafı ve nokta bulutu örneği [4] 21
Şekil 3.1 Bina çatısı segmentasyonu [44] 28
Şekil 3.2 Farklı parametreler ile gerçekleştirilen çoklu çözünürlüklü segmentasyon örnekleri 29
Şekil 3.3 Satranç tahtası segmentasyon örneği 30
Şekil 3.4 LiDAR verilerinden otomatik obje çıkarımı işlem şeması 34
Şekil 3.5 YM ve SYM [27] 35
Şekil 3.6 n-YM örneği [51] 36
Şekil 4.1 Çalışma alanı LiDAR nokta bulutu 40
Şekil 4.2 Çalışma alanına ait ortofoto görüntü 40
Şekil 4.3 Riegl LSM-Q680i lazer tarayıcı [53] 41
Şekil 4.4 Çalışma alanında temizlenen gürültü noktaları 43
Şekil 4.5 Maksimum ve minimum gürültü noktalarının tespiti 43
Şekil 4.6 Gürültü noktalarını silme işlemi 44
Şekil 4.7 Çalışma alanına ait gürültüleri temizlenmiş nokta bulutu 44
Şekil 4.8 Çalışma alanına ait YM 45
Şekil 4.9 Çalışma alanına ait YM'nin perspektif görünüşü 45

Şekil 4.10 Çalışma alanı yer yüzeyine (zemin) ait noktalar 46
Şekil 4.11 Çalışma alanı SYM görüntüsü 47
Şekil 4.12 Çalışma alanına ait SYM'nin perspektif görünüşü 47
Şekil 4.13 n-YM hesaplama ekranı 48
Şekil 4.14 Çalışma alanı için üretilen n-YM 48
Şekil 4.15 Yaklaşım 1 için obje çıkarımı işlem şeması 49
Şekil 4.16 Yaklaşım 1 için segmentasyon parametre değerleri 50
Şekil 4.17 Yaklaşım 1 için oluşturulan segmentler 50
Şekil 4.18 Yaklaşım 1 için oluşturulan kural seti 51
Şekil 4.19 Çalışma alanına ait yerden yüksek objeler 52
Şekil 4.20 Yerden yüksek objelerin diğer ve ağaç sınıfına atanması 53
Şekil 4.21 Çalışma alanı ağaç sınıfı sınır ilişkisi 54
Şekil 4.22 Çalışma alanı diğer sınıfı sınır ilişkisi 55
Şekil 4.23 Çalışma alanı iyileştirilen sınıflandırma sonucu 56
Şekil 4.24 LiDAR nokta bulutu ve ortofoto verileri ile obje çıkarımı işlem şeması 57
Şekil 4.25 Seçilen segmentasyon parametreleri ve segmentasyon kuralı 58
Şekil 4.26 Ölçek 30, şekil 0.1, bütünlük 0.9 59
Şekil 4.27 Ölçek 50, şekil 0.1, bütünlük 0.9 60
Şekil 4.28 Ölçek 80, şekil 0.1, bütünlük 0.9 60
Şekil 4.29 Ölçek 50, şekil 0.1, bütünlük 0.9 konut ve orman alanları 61
Şekil 4.30 Ölçek 50, şekil 0.3, bütünlük 0.7 konut ve orman alanları 61
Şekil 4.31 Ölçek 50, şekil 0.4, bütünlük 0.6 konut ve orman alanları 61
Şekil 4.32 Yaklaşım 1 için sınıf hiyerarşisi 62
Şekil 4.33 Yaklaşım 2 için kural seti 63
Şekil 4.34 Yeşil bant değerinin tüm bant değerlerinin toplamına oranı 65
Şekil 4.35 Yeşil bant değerinin tüm bant değerleri toplamına oranlanması sonucu oluşan görüntü 65
Şekil 4.36 Tüm yansıma / son yansıma oranlaması 66
Şekil 4.37 Nokta bulutu tüm/son yansıma hesabıyla üretilen yardımcı görüntü 66
Şekil 4.38 Yükseklik farkının nokta bulutu dönüş sayısına göre ağaç ve bina nesnelerindeki durumu [54] 67
Şekil 4.39 Yeşil renk çatılı binalar sebebiyle sınıf karışıklığı 67
Şekil 4.40 Nokta bulutu özniteliklerinden üretilen yardımcı görüntüler 67
Şekil 4.41 Segmentlerin bina sınıfı ile olan sınır ilişkisi örneği 68
Şekil 4.42 Sınır ilişkisi üretme fonksiyonu 68
Şekil 4.43 Yeşil bant standart sapma değerleri ile oluşan görüntü 69
Şekil 4.44 SYM üzerinden standart sapma hesabı ile oluşturulan görüntü örneği [54] 69
Şekil 4.45 Maximum algoritması ve ilk yansıma değerleri ile üretilen yoğunluk görüntüsü 70
Şekil 4.46 Bina ve yeşil alan sınıf karışıklıkları (a), bina ve yeşil alan sınıflarının iyileştirilmesi (b) 70
Şekil 4.47 Bina sınıfındaki bir binadan daha küçük objeler 71
Şekil 4.48 Havuz sınıfını oluşturan kurallar 72
Şekil 4.49 Ortofoto mavi bant görüntüsü (a), ortofoto mavi bant katmanından üretilen görüntünün (b) gri zemin, yol ve havuzların tespiti için kullanımı 72
Şekil 4.50 Ortofoto mavi bant değerinin tüm bant değerlerinin toplamına oranı 73

Şekil 4.51 Mavi bant değerinin tüm bant değerleri toplamına oranlanması sonucu oluşan görüntü 73
Şekil 4.52 Çalışma alanı bütününde sınıflandırma sonucu 74
Şekil 4.53 Yaklaşım 1 için doğruluk analizinde kullanılan noktalar 75
Şekil 4.54 Yaklaşım 2 için doğruluk analizinde kullanılan noktalar 76

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Riegl LSM-Q680i teknik özellikleri [53] 41
Çizelge 4.2 Yaklaşım 2 için segmentasyon parametre analizi 59
Çizelge 4.3 Yaklaşım 1 için hata matrisi 77
Çizelge 4.4 Yaklaşım 2 için hata matrisi 78

ÖZET

NESNE TABANLI SEGMENTASYON YÖNTEMİ İLE LiDAR VERİLERİNDEN OBJE ÇIKARIMI

Eda SOYLU SENGÖR

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Naci YASTIKLI

Kentsel alanların yönetiminde ve karar verme aşamasında coğrafi bilgi sitemleri oldukça önemli yer tutar. Coğrafi bilgi sistemlerini oluşturan mekânsal verilerin üretimi ise verinin yoğunluğuna göre değişmekle birlikte genellikle uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirir. Kent yönetimi ve kentsel projeler için doğru, güncel ve hızlı mekânsal veri ihtiyacı çeşitli yöntemlerle karşılanmaktadır. Günümüzde bu verilere mümkün olduğunca hızlı ulaşmak için verilerin otomatik olarak çıkarılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada da havadan lazer tarama sistemi olan LiDAR (Light Detection and Ranging) ile elde edilen nokta bulutu ve ortofoto görüntüsünü kullanarak nesnelerin otomatik çıkarımı üzerine iki adet uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda nesne tabanlı segmentasyon ve sonrasında sınıflandırma yapılmıştır. Uygulamalardan birinde sadece LiDAR nokta bulutu kullanılmış, diğerinde ise LiDAR nokta bulutu ile ortofoto görüntünün birlikte kullanıldığı bir yaklaşımla nesnelerin çıkarımı araştırılmıştır. Uygulama sonuçları için doğruluk analizi yapılmış ve doğrulukları karşılaştırılmıştır. Yurtiçi ve yurtdışında bu konuda kullanılan yöntemler ve yapılan araştırmalar incelenerek çalışmada yer verilmiştir. Çalışma, e-Cognition Developer 9.1 masaüstü yazılımı kullanılarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 2013 yılı içinde farklı zamanlarda elde ettiği ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verileri ile yapılmış ve uygulamalarda bina, yeşil alan, zemin, yol, gölge gibi sınıflar ortaya çıkmıştır. Sayısal Yüzey Modeli (YM), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yoğunluk bilgisi gibi yardımcı

veriler de sınıflandırma işlemleri için kullanılmıştır. Farklı sınıflara ait çıkarılan nesnelerin sınıf doğruluğunu araştırmak üzere gerçekleştirilen doğruluk analizlerinde her bir sınıfa ait objeler ayrı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda LiDAR ve yardımcı verilerle yapılan obje çıkarımında kullanılan yöntemlere bağlı olarak karşılaşılan sorunlar tespit edilmiş ve çalışma içerisinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: LiDAR, ortofoto, segmentasyon, sınıflandırma, obje çıkarımı

ABSTRACT

OBJECT EXTRACTION FROM LiDAR DATA BY USING OBJECT BASED SEGMENTATION METHOD

Eda SOYLU SENGÖR

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Naci YASTIKLI

Geographic information systems (GIS) have an important role in the management and decision-making of urban areas. The production of spatial data constituting the geographic information systems varies according to the density of the data and usually requires long time and high cost. Accurate, current and fast spatial data requirements for urban management and urban projects are met by various methods. Nowadays, studies are carried out for automatically extract data in order to reach this data as quickly as possible.

In this study, two applications are carried out on the automatic extraction of objects using the point cloud obtained by airborne laser scanning system, LİDAR (Light Detection and Ranging) and orthophoto image. In these applications, object-based segmentation and classification are practiced. In one of the applications, only LiDAR point cloud is used, while in the other, the extraction of objects is researched with an approach where LiDAR point cloud and orthophoto image are used together. Accuracy analysis is performed for the application results and their accuracy is compared. The methods and researches used in Turkey and abroad on this subject are examined in this study. The study, using the e-Cognition Developer 9.1 desktop software, is carried out with the orthophoto and LiDAR point cloud data obtained by the Istanbul Metropolitan Municipality at different times in 2013 and classes such as building, green area, ground, road and shadow have emerged in these applications. Digital

Surface Model (DSM), Digital Elevation Model (DEM) and intensity information are also used as auxiliary data for classification. In order to research the class accuracy of objects extracted from different classes, the objects of each class are evaluated separately in accuracy analysis. As a result of the study, the problems encountered with the methods used in object extraction with LiDAR and auxiliary data are identified and presented in the study.

Keywords: LiDAR, orthophoto, segmentation, classification, object extraction

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kent bilgi sistemleri, kentsel dönüşüm projeleri, afet yönetimi ve afet senaryolarının oluşturulması gibi karar mekanizmaları içeren projeler için mekânsal veri ihtiyacı her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda planlama, kentsel dönüşüm ve gelişime ilişkin en temel ihtiyaçlardan bazıları bina, yol, yeşil alan gibi mekânsal verilerdir. Kent yönetiminin sürekliliğinin sağlanması için veri üretimin yanında veri güncelliğinin de sağlanması gerekir. Verinin hızlı ve doğru şekilde üretilmesi ve güncelliğinin korunması için sorumlu kurum/kuruluşlar çeşitli yöntemler kullanmaktadır.

Özellikle kentsel alanlarda ihtiyaç duyulan arazi kullanımı ya da nesnelere ait coğrafi verilerin üretimi için kullanılan yaygın yöntemlerden biri obje çıkarımıdır. Gelişen teknoloji ile obje çıkarımında otomatik yöntemlerin uygulanmasıyla veri üretiminde zamandan oldukça tasarruf sağlanmaktadır. Fakat otomatik obje çıkarımına ilişkin yapılan uygulamalarda kullanılan veriye, yaklaşıma ve yazılımlara göre değişkenlik gösteren sınıf karışıklıkları, obje sınırlarının doğru belirlenememesi gibi sorunlar ile karşılaşılmakta ve bu durum hedeflenen sonuçlarda hatalara sebep olmaktadır. Bu sorunların çözümü için geometrik kenar çıkarım algoritmaları, filtreleme, segmentasyon ve farklı sınıflandırma yöntemleri gibi yaklaşımların yanı sıra uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve LiDAR nokta bulutu gibi farklı algılama sistemlerinden elde edilen verilerin sunduğu avantajlardan da faydalanılmaktadır.

Obje çıkarımı için kullanılacak veriye ve hedeflere uygun yöntemin seçilmesi istenilen objeye ulaşmak ve istenilen doğruluğu yakalamak açısından oldukça önemlidir. Obje çıkarımı için kullanılan en yaygın yöntem sınıflandırmadır. Sınıflandırma işleminin de

kendi içinde farklı yöntemleri mevcuttur. Sınıflandırma işlemi, literatürde hedef sınıfların belli olduğu kontrollü sınıflandırma ile sınıfların verilen sayıya göre otomatik oluşturulduğu kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerinin yanı sıra kullanılan veriye göre tercih edilen nokta, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bunlar içinde en yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemi piksel tabanlı sınıflandırma olmasına karşın son zamanlarda obje çıkarımı için nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile gerçekleştirilen uygulama sayısı artış göstermiştir. Nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi ise nokta bulutu verilerindeki noktaların sınıflandırılmasında kullanılır ve homojen özelliklere sahip noktaların aynı sınıf altında toplanması şeklinde gerçekleşir. Piksel tabanlı sınıflandırma, görüntü üzerindeki aynı ya da benzer piksel gri değerleri esas alarak piksellerin uygun sınıfa atanması ile gerçekleşir. Fakat bu yöntemde spektral değerleri aynı olan farklı objelerin aynı sınıfa atanmasıyla sınıf karışıklıkları meydana gelmektedir. Bu sınıf karışıklığını önlemek için alternatif veri kaynağı olan LiDAR nokta bulutunun sağladığı yükseklik bilgisinden ve şekil, ölçek, bütünlük gibi nesneyi simgeleyen özellikleri baz alarak oluşturulan segmentlerin sınıflandırılması şeklinde gerçekleşen nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin avantajlarından faydalanılmaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin bir avantajı da segmentasyon işleminin gerçekleştirilmesi ile objelerin daha anlamlı olarak ifade edilebilmesidir [1].

Obje çıkarımı için farklı algılama sistemlerinden elde edilen ürünler kullanılmakta olup, en yaygın olanları sayısal görüntüler ve LiDAR nokta bulutu verileridir. Bu verilerin obje çıkarımında kullanımı açsından birbirlerine olan üstünlükleri ve koşullara göre dezavantajları mevcuttur.

LiDAR sistemleri aktif uzaktan algılama sistemleridir ve bu sistemlerde araziyi tanımlamak için lazer ışığının darbeleri kullanılır. LiDAR, hava şartlarından bağımsız çalışabilme özelliği ile alışılagelmiş ölçme yöntemlerinin gerçekleştirilmesinin zor olduğu yerlerde kullanılabilir bir yöntemdir [2].

LiDAR verisinin analizi ile verinin içerdiği fazla bilgilerin çıkarılması ve veriyi obje çıkarımı işlemine hazır hale getirmek için sayısal görüntü işleme fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Örneğin filtreleme, yumuşatma ve kenar keskinleştirme

fonksiyonları ile görüntüdeki nesneler daha ayırt edilebilir hale getirilebilmektedir. Filtreleme teknikleri ile nokta bulutundaki gürültü olarak tanımlanan hatalı noktalar ortadan kaldırılmakta ve yer yüzeyi ve insan yapımı objeler ayırt edilebilmektedir. Üretilen yükseklik modelleri yardımıyla bina ve ağaç gibi yer üstü objelerin çıkarılması mümkün hale gelmiştir. Bu sebeplerle çeşitli alanlarda gerçekleştirilen obje çıkarımı uygulamalarında LiDAR tercih edilir bir veri kaynağı olmuştur.

Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile LiDAR verilerinden obje çıkarımı için oluşturulan segmentler ile objelerin şekil, doku, bütünlük vb. özelliklerine göre nokta bulutunun birbirinden bağımsız bölgelere ayrılması sağlanmaktadır [3], [4]. Sınıflandırma işleminde ise veri seti içinde benzer özellikler gösteren segmentler gruplandırılmaktadır.

Sadece LiDAR verisi kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda aynı yükseklikte fakat birbirinden farklı objelerin aynı sınıfa atanarak, yanlış sınıfta yer almasına sebep olan sınıflandırma sorunları görülmektedir. Ayrıca LiDAR nokta bulutu verisinin yoğunluğundan kaynaklanan gürültüye bağlı olarak yanlış veya eksik veri elde edilmesiyle obje çıkarımının doğruluğunu etkileyen yanları da bulunmaktadır. Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da uygulamalarda tek başına obje çıkarımı için sınıflandırılarak kullanılmakta, fakat spektral değerlerden kaynaklı sınıf karışıklıkları bu uygulamalarda önlenememektedir. Bu sorunlar, obje çıkarımında LiDAR verileri ile sayısal görüntülerin bütünleşik kullanımı ile giderilebilmektedir [5]. Yani farklı algılayıcılardan elde edilen veri setlerinin birlikte kullanılması otomatik obje çıkarımında daha iyi sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat yapılan araştırmalarda çalışma bölgelerinde zamansal farklılıkların oluşma riskinden dolayı oluşabilecek hataların önlenebilmesi için eş zamanlı toplanmış verilerin füzyonu ile obje çıkarımı gerçekleştirilmesi önerilmekte olup, bunu sağlayan en uygun sistemin LiDAR, sayısal kamera ve GPS (Global Positioning System)/IMU (Inertial Measurement Unit)'dan oluşan çoklu algılama sistemleri olduğu berlirtilmektedir [4].

Bu çalışmada sadece LiDAR nokta bulutu verisinin kullanıldığı yaklaşımın yanı sıra ve LiDAR nokta bulutu ile yakın zamanda üretilen ortofoto verisinin birlikte kullanıldığı bir diğer yaklaşım ele alınmış olup, her ikisinde de nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile

kural bazlı otomatik obje çıkarımı incelenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen filtreleme işlemleri ile öncelikle LiDAR nokta bulutu içerisindeki gürültü noktaları temizlenmiş, yere ve yerüstü objelere ait noktalar ayrılarak SYM ve YM üretilmiştir. Böylece çalışma süresince yükseklik bilgisinden yararlanılacak veriler elde edilmiştir. İlk uygulamada sadece LiDAR verisi kullanılmış olup, SYM ve YM'ndeki yükseklik bilgilerinden yararlanılmıştır. İkinci uygulamada ise kural seti ile objelerin sınıflandırılması için kullanılan yazılımın sayısal görüntülerin her bir bandında ayrı ayrı çalışabilme kabiliyeti sayesinde segmentlerin oluşturulması ve ortaya çıkan sınıfların iyileştirilmesi aşamalarında ortofoto görüntüsünden faydalanılmıştır. Her iki uygulamada da belirlenen parametreler ile segmentasyon işlemi gerçekleştirilerek görüntü kendi içinde anlamlı bölümlere ayrılmıştır. Daha sonra segmentlerin yazılan kurallar ile belirlenen sınıflara atanarak gruplandırılması sağlanmıştır. SYM, YM ve LiDAR yoğunluk (intensity) bilgileri her iki uygulamada da sınıfların oluşturulması ve iyileştirilmesi işlemleri için kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonrasında uygulamalar için doğruluk analizi yapılmış, her sınıf için ayrı ayrı sonuçlara yer verilmiştir.

Bu çalışma 5 bölüm içermektedir. Birinci bölüm olan giriş kısmında, mekânsal verinin sayısal ve güncel olarak üretilmesinin önemi, veri üretiminde otomatik obje çıkarımının kullanılması, LiDAR sistemleri ile nokta bulutu verisinden ve sayısal görüntülerle bütünleşik kullanımından obje çıkarımı konularına değinilmesinin yanı sıra, obje çıkarımı ve LiDAR konularında ülkemizde ve yurtdışında yapılan araştırmaların belirtildiği literatür özeti, tanımlanan sorun ile çözümlerinin yer aldığı tezin amacı ve hipotez başlıkları bulunmaktadır. LiDAR başlıklı ikinci bölümde LiDAR teknolojisi, ortofotolar ve çoklu algılama sistemlerine, yoğunluk görüntüsüne ve LiDAR verisi kullanım alanlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, obje çıkarımı, kullanılan yöntem ve verilerle ilgili bilgi verilmiş, LiDAR verilerinden nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile obje çıkarımı ile ilgili teknik bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde ise bu tez çalışmasına konu olan nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile LiDAR verilerinden obje çıkarımı için gerçekleştirilen uygulamalar, kullanılan yöntemler, obje çıkarımı sırasında kullanılan filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde de elde edilen sonuç ve önerilere yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Şehir planlaması, afet, kentsel dönüşüm, karar destek sistemleri, telekomünikasyon, enerji verimliliği araştırmaları, ağ planlamaları, askeri uygulamalar, navigasyon gibi alanlarda özellikle yeryüzündeki güncel ve eksiksiz bina nesnelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç otomatik obje çıkarımı yöntemleri ile hızlı bir şekilde karşılanabilmektedir.

Obje çıkarma işlemi, nokta, çizgi ve alan veri tipinde saklanabilecek detayların gruplanarak uygun veri tipinde sunulması ve görüntünün anlamlı hale getirilmesidir. Obje çıkarımında izlenecek yöntem uygulamanın gerçekleştirme amacına uygun olarak seçilmelidir. Örneğin arazi kullanımının tespitine yönelik uygulamalar ya da bina, yol, ağaç, orman alanı gibi objelerin çıkarımı için uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir [5].

Obje çıkarım girişimleri 80'li yıllarda gündeme gelmiş ve otomatik yöntemler 90'lı yıllarda ilgi çekmeye başlayarak özellikle çizgisel çıkarımda başarılı sonuçlar elde edilmiştir [4]. Otomatik obje çıkarımında kullanılan yöntemlerde çeşitli veriler ile uygulamalar gerçekleştirilmekte ve farklı yöntemlerde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Otomatik obje çıkarımı sonucunda çıkan veriler coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve bilgisayar destekli çizim (Computer Aided Design (CAD)) ortamlarında kullanılabilmektedir.

Obje çıkarımı sınıflandırma işlemi sonucu gerçekleşmektedir. Bu sebeple obje çıkarımı için seçilen veri kaynağı ve sınıflandırma yöntemi tercihi sınıf doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Çeşitli algılama sistemlerinin gelişmesiyle elde edilen farklı veriler farklı obje çıkarım yöntemlerinin gelişmesi ihtiyacını doğurmuştur [6], [7]. İncelenen araştırmalarda bazı araştırmacıların sadece LiDAR verisini, bazılarının sadece görüntü verisini kullandığı görülmüş, fakat en iyi sonuçların LiDAR nokta bulutu ve sayısal görüntülerin birlikte kullanıldığı araştırmalarda elde edildiği tespit edilmiştir.

Sadece sayısal görüntülerin kullanıldığı obje çıkarımı araştırmalarında ise ister piksel tabanlı ister nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi seçilmiş olsun piksellerin spektral yansıma değerlerinden kaynaklanan sınıf karışıklıklarının oluştuğu, gölge boşluk ve zayıf kontrast değerleri [5] gibi sorunların ortaya çıktığı görülmüştür. Sayısal görüntü olarak obje çıkarımı uygulamalarında en çok kullanılan veriler uydu görüntüleri ile hava

fotoğraflarından elde edilen ortofotolardır. Ortofotolar hava fotoğraflarının çekildiği andaki dönüklük ve eğiklik ile yükseklik farkından kaynaklanan hataların giderilmesi sonucunda üretilen ve her noktasında ölçeği sabit olan görüntülerdir. Sabuncu ve Sunar [8], ortofoto üzerinden nesne tabanlı segmentasyon yöntemini kullanarak gerçekleştirdiği araştırmalarında obje çıkarımına ilişkin bir takım sınırlamalarla karşılaşmıştır. Örneğin bir deprem sonrasında enkaz yığınlarını belirlemek amaçlı gerçekleştirilen bu araştırmada seçilen çalışma bölgesindeki binalarda farklı çatı tiplerinin kullanılmış olması bina nesnelerini yakalamakta sınırlamalar getirmiştir. Yine aynı uygulamada betondan yapılmış yollar, kaldırımlar, çatılar ve enkaz yığınları benzer yansıma değerlerine sahip olmaları sebebiyle sınıf karışıklıklarına sebep olmuştur. Kalkan ve Maktav [9], uydu görüntüleri üzerinden arazi kullanımını ortaya koymak isteyen bir çalışmada nesne tabanlı yöntemin daha hızlı olduğunu, ayrıca LiDAR ile bütünleşik çalışmanın daha başarılı sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir.

Aktif bir uzaktan algılama sistemi olan LiDAR, lazer ışınları ile yeryüzü veya üzerindeki herhangi bir objenin taşıyıcı platforma olan uzaklığını ölçen ve böylece cisimlerin yüksekliklerini hesaplayarak yeryüzüne gönderdiği ışının çarptığı noktaların X,Y,Z koordinatlarını belirlemeye olanak sağlayan teknolojidir [10]. LiDAR teknolojisi 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlamış, topoğrafik haritalama için LiDAR sistemi ilk olarak 1993'te piyasaya çıkmıştır [5]. Günümüzde ise LiDAR sistemlerinin yeryüzünden kolay ve doğrudan üç boyutlu (3B) veri toplama amacıyla kullanımı oldukça artmıştır. Bunun yanı sıra aktif bir sistem olan LiDAR, hava koşullarından oldukça az etkilenmesi ve hem gece hem gündüz veri toplayabilmesi sebebiyle tercih edilmektedir [11]. LiDAR, diğer ölçme yöntemleri ile karşılaştırıldığında arazi çalışması ve değerlendirme maliyeti daha azdır. Bu durum, LiDAR ile kullanım amacına uygun veri elde edebilecek olan kullanıcılar için LiDAR teknolojisini çekici kılmaktadır. Yüksek doğruluklu nokta bulutu verisi detay çıkarımında kullanılan önemli bir veridir. Ama LiDAR verisindeki çok yüksek yoğunluk, verinin işlenmesinde işlem hızının çok yavaşlaması, gürültü ve ihtiyaç duyulmayan detaylar gibi sorunlara sebep olmaktadır [4]. Bu da hatalı veri elde edilmesine yol açmaktadır.

Nokta bulutundan oluşturulabilen en yaygın ürünler olarak yükseklik modelleri akla gelmektedir. Literatürde yükseklik modelleri üç başlıkta toplanmaktadır. Bunlar,

“Sayısal Yükseklik Modeli” (SYM), “Sayısal Arazi Modeli” (SAM) ve “Sayısal Yüzey Modeli” (YM) terimleri ile ifade edilmektedir. SYM ve SAM yeryüzündeki üzerindeki objeleri içermeyen, çıplak arazi yüzeyine ait yükseklik modelleridir. YM ise arazi üzerinde bulunan bina, ağaç, köprü gibi nesnelerin yüksekliklerinin de dâhil edildiği yükseklik modelidir. Çoğunlukla SAM ve SYM, X ve Y yönünde düzenli grid aralıklarıyla her gridin orta noktası için yükseklik bilgisini içeren modellerdir [12], [4]. İki model arasındaki fark SAM’ın arazideki su toplama ve su ayırım çizgilerini içermesi, tepe ve çukur detaylarını da sunmasıdır. Bu sebeple SAM, arazinin gerçek şekline daha uygun bir gösterim imkânı sunar [4]. LiDAR, nokta bulutundan bina, ağaç, kentsel objeler gibi yeryüzü üzerindeki insan yapımı objelere ait yükseklik bilgilerini içeren YM üretimi için ihtiyaç duyulan yükseklik verisine hızlı erişim olanağı sağlar. Bu yükseklik modeli çeşitlerinin tamamının üretiminde LiDAR verisi sıklıkla kullanılmakta, filtreleme işlemleri ile sonuç ürün elde edilmektedir. Son zamanlarda LiDAR verilerinden üretilen SAM’nin hassasiyeti üzerine birçok makale yayınlanmaktadır. Bu hassasiyet navigasyon doğruluğu, referans verinin kalitesi ve filtrelenen LiDAR verisinin doğruluğu gibi faktörlerden etkilenmektedir [13]. Vosselman [14], Lohmann vd. [13], Wack ve Wimmer’in [15] çalışmalarında morfolojik filtreleri kullanmasının yanı sıra, Vosselman [14] morfolojik filtreler dışında eğim tabanlı filtreleme yöntemini de kullanmıştır [4]. LiDAR nokta bulutunun yükseklik bilgisinden faydalanabilmek için kullanılan yöntemlerden birisi de normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (n-YM) üretimidir. Rottensteiner ve Clode [16] ve Khoshelhama vd. [17] YM’nden SYM’nin çıkarılmasıyla elde edilen n-YM ‘i çalışmalarında kullanarak yere ait olmayan objelerin yakalanmasına çalışmışlardır.

LiDAR teknolojisinin ham verisi nokta bulutu olduğundan, bu veri ile yapılan çalışmalarda öncelikle nokta bulutunun işlenmesi gerekmektedir. Nokta bulutunun işlenmesinde ilk adım filtreleme işlemidir. LiDAR verisinden obje çıkarımı konusunda Sithole’un [18] yaptığı çalışmada nokta bulutu üzerinde filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sithole [18], LiDAR nokta bulutu verisinden obje çıkarımında segmentasyon yöntemini kullanarak, insan yapımı objeler ile doğal objelerin, yeryüzü ile yeşil alanların ayrılması için çalışmıştır. Sonrasında farklı

guruplara ayrılan objelerin sınıflandırılması ile obje çıkarımını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmasında özellikle köprülerin çıkarımı konusunu incelemiştir.

Teknolojik gelişmeler sonrasında yoğunluk verisinin elde edilebilir olmasıyla LiDAR nokta bulutu verisinin tek başına kullanıldığı obje çıkarımı uygulamalarına yoğunluk verisi de dâhil edilmiştir [4]. LiDAR verisinin yoğunluğu, uygulamalarda amaca uygun detayda obje çıkarımı gerçekleştirebilmek için önemli bir etkendir. LiDAR noktalarının bina kenarları gibi detayları yakalamaktaki başarısı sayısal görüntülere göre daha azdır [19]. Fakat çoklu yansıma özelliğine sahip LiDAR sistemlerinden elde edilen nokta bulutu verisinin düşey düzlemdeki dağılımı ağaç ve bina objelerini ayırmada oldukça avantajlıdır.

LiDAR verilerinden otomatik obje çıkarımı konusunda LiDAR verisinin çoklu yansıma özelliğinden faydalanılarak [7], kural tabanlı sınıflandırma işlemi uygulanarak [20], segmentasyon yöntemi kullanılarak [18] çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sınıfların iyileştirilmesi için yoğunluk verisini kullanmış [21], nesne ve piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerini LiDAR verilerinden obje çıkarımı için denemişlerdir [22].

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki obje çıkarımında farklı algılama sistemi verilerinin birlikte kullanılmasıyla daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Fakat farklı sistemlerden alınan verilerin birlikte kullanılması ile izlenecek yöntemlerde, sorunlarla karşılaşmamak ve daha iyi sonuçlar elde etmek için verilerin aynı zamanda toplanılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Son zamanlarda bütün bu yöntem ve verilerin otomatik obje çıkarımına olan katkısının incelenmesi önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Mao vd. [23], aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR ve sayısal kameradan eş zamanlı elde edilen nokta bulutu ve sayısal görüntüleri kullanarak, bina kenarlarını yakalamak için çalışmışlardır. Yapılan çalışmalarda sadece LiDAR nokta bulutu verisinin kullanılmasıyla gerçekleştirilen obje çıkarım uygulamalarında bu verinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Baltasavias [24], Rottensteiner ve Breise. [25] ve Uzar [4] gerçekleştirdikleri uygulamalarda LiDAR nokta bulutu verisi ile sayısal görüntülerin bütünleşik kullanımının daha yüksek doğruluklu sonuçlar verdiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Külür [26], sayısal görüntü ve LiDAR nokta bulutu verilerinin obje çıkarımında kullanımını karşılaştırmalı olarak inceleyerek, bu iki verinin

bütünleşik kullanımını önermiştir [4]. Ancak bu iki verinin bütünleşik kullanımında farklı zamanlarda elde edilen verilerin yol açtığı araç, insan gibi hareketli objelerin varlığı, gölgelerin etkisi, mevsim değişikliği gibi farklılıklardan kaynaklanan sınıf karışıklığı sorunları ortaya çıkmıştır. Otomatik obje çıkarımı konusunda gerçekleştirilen birçok uygulamada bu sorunu gidermek, sınıflandırma doğruluğunu arttırmak ve hedef sınıflara atanan objeleri iyileştirmek için LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemlerinden elde edilen eş zamanlı verilerin bütünleşik kullanımı en uygun yöntem olarak önerilmektedir [4]. Çoklu algılama sistemlerinden elde edilen veriler ile gerçekleştirilen birçok uygulamada da obje çıkarımı için nesnelerin şekil, renk, yüzey homojenliği, yükseklik, spektral yansıma değeri gibi özelliklerini bir bütün olarak değerlendirerek gruplara ayıran nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edilmiştir.

Yapılan bu literatür araştırmasında, otomatik obje çıkarımına yönelik yurt içi ve yurt dışında gerçekleştirilen çalışmalarda farklı algılama sistemleri verileri (nokta bulutu, uydu görüntüleri ve sayısal görüntüler) ve kullanımlarına, tercih edilen obje çıkarım yöntemlerine ve uygulama sonuçlarına göre önerilen yöntemlere yer verilmiştir. Bu tez çalışmasında tekli algılama sistemi olan LiDAR nokta bulutu ile gerçekleştirilen otomatik obje çıkarımı uygulamasında karşılaşılan sorunları gidermek için LiDAR nokta bulutu ve ortofotonun bütünleşik kullanıldığı bir yaklaşımla yeni bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda nesne tabanlı segmentasyon yöntemi kullanılarak kural seti geliştirilmiş ve otomatik obje çıkarımında oluşturulan sınıfların iyileştirilmesi için bu kurallar kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, obje çıkarımı için klasik piksel tabanlı yöntemlerde karşılaşılan sorunları gidermek için nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile LiDAR verilerinden otomatik obje çıkarımı amaçlanmış olup, bu yaklaşımla çıkarılan objelerin kentsel alanlardaki nesnelere ait mekânsal veri ihtiyacına çözüm sağlaması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada İstanbul ili Zekeriyaköy bölgesinde seçilen, bina, ormanlık alan, yol gibi nesneleri içeren çalışma alanının karakteristik özelliklerine uygun olarak belirlenen parametrelerle bölgedeki yer ve yere ait olmayan objelerin çıkarımını ve bu sırada

karşılaşılabilecek sınıf karışıklığı sorunlarına çözüm üretmeyi hedefleyen iki yaklaşım önerilmiştir. Bunlardan ilkinde sadece LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak obje çıkarımı gerçekleştirilirken ikincisinde farklı algılama sistemlerinden yakın zamanlarda üretilen ortofoto görüntüsü ile LiDAR nokta bulutunun bütünleşik kullanımı ile obje çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulanacak filtreleme, gruplama ve sınıflandırma yaklaşımları ile farklı sınıflarda objelerin çıkarılması hedeflenmiştir. Bir sonraki aşamada ise, çıkarılan objelere ilişkin sınıfların doğruluk testinin yapılmasıyla benimsenen yaklaşımlara ait sonuçların analiz edilerek uygun yöntemin belirlenmesi çalışmanın bir diğer hedefidir.

1.3 Hipotez

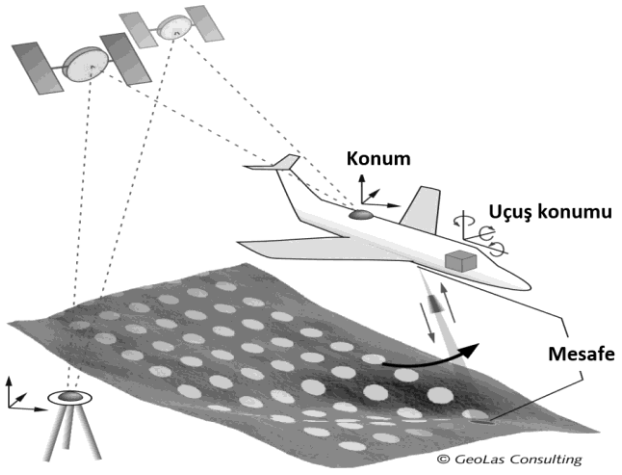
Bu çalışmada LiDAR nokta bulutu verilerinden nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile kural tabanlı obje çıkarımı yaparak kentsel alanlardaki mekânsal veri ihtiyacının karşılanması öngörülmektedir. Klasik piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi mekânsal veri üretiminde spektral değerleri aynı olan farklı objelerin aynı sınıfa atanmasıyla meydana gelen sınıf karışıklıklarının giderilmesi için görüntü ve LiDAR nokta bulutu verisi birlikte kullanılabilir. Bu şekilde mekânsal veriler zahmetli ve zaman alıcı olan klasik veri toplama yöntemleri yerine otomatik obje çıkarımı ile kolay ve hızlı bir şekilde üretilebilir. Mekânsal verilerin kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesi amacıyla LiDAR nokta bulutu ve ortofotoların birlikte kullanıldığı bütünleşik bir nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılabilir.

BÖLÜM 2

LİDAR

LİDAR, ingilizce “Light Detection And Ranging” kelimelerinin kısaltmasıdır. Havadan ya da karadan lazerle tarama yapan bir sistemdir. LiDAR sistemi literatürde havadan lazer tarama sistemi (Airborne Laser Scanning (ALS)) ve LADAR (Laser Detection and Ranging) olarak da kullanılmaktadır. Bu teknoloji 1960’lı yılların sonunda havadan denizaltılarının tespiti için geliştirilmiş, harita üretimi için 1990’lı yılların sonunda kullanılmaya başlamıştır.

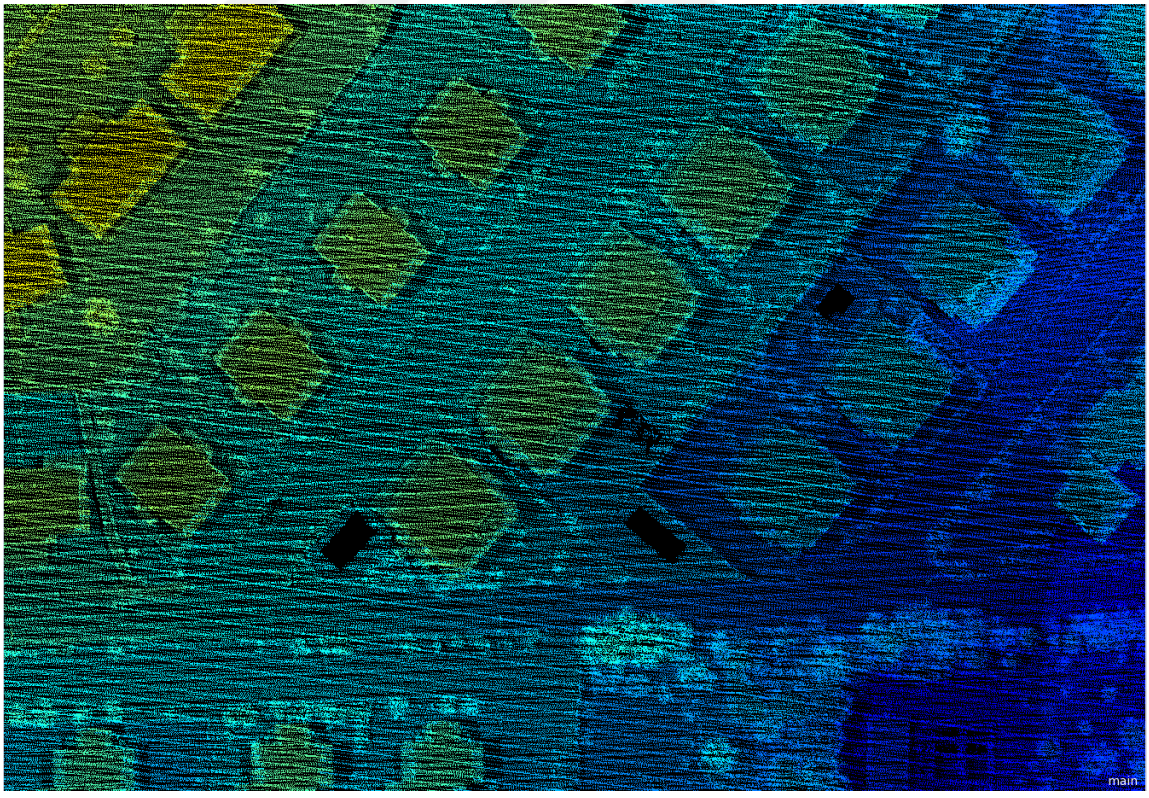
LiDAR, yüksek doğruluklu konumsal veri elde edilmesinde kullanılan aktif bir lazer tarayıcı algılama sistemidir ve yeryüzüne elektromanyetik enerji gönderir (Şekil 2.1). Yeryüzüne ve yeryüzündeki objelere çarpıp yansıyan enerji LiDAR sensörü tarafından algılanıp 3B nokta bulutu olarak kaydedilir. Genel olarak LiDAR sistemleri, sensörden çıkan sinyalin obje ile arasındaki mesafeyi kat etme süresinin ölçümünü temel alan ve sonrasında objenin 3 boyutlu koordinatlarını hesaplayan bir ölçme prensibine sahiptir [11].



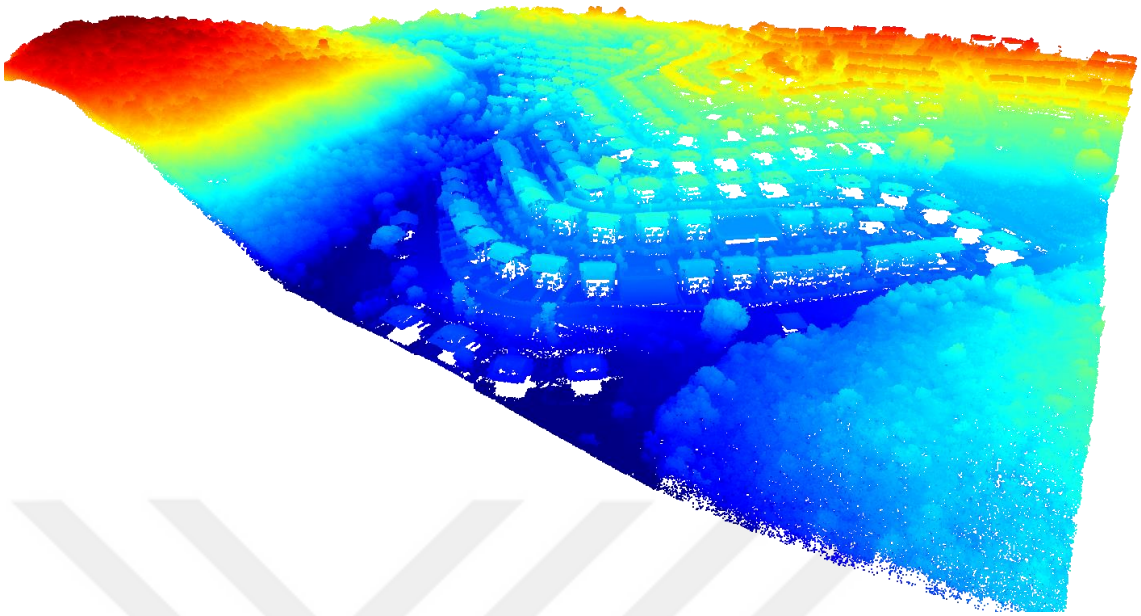
Şekil 2.1 Lazer tarama teknolojisi [27]

Saniyede 5000 sinyal gönderebilen LiDAR sensörü ile gönderilen ve yer yüzeyinden geri yansıyan ışınlar GPS/IMU sistemleri ile elde edilen verilerle birlikte değerlendirilmekte ve yapılan hesaplama işlemleri sonucunda yer yüzeyi ve üzerindeki objelere ilişkin üç boyutlu koordinatlar elde edilmektedir (Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Piyasada 50'den fazla lazer tarama sistemi mevcut olup, en çok kullanılan ticari sistemler Optech, TopoSys, TopEye, 62 ScaLARS, Riegl sistemleridir. Sistemler 50-5000 m aralığında farklı uçuş yüksekliklerine sahiptir ve ürettikleri verilerde nokta sıklığı 0.25-10 m arasında değişmektedir [4].

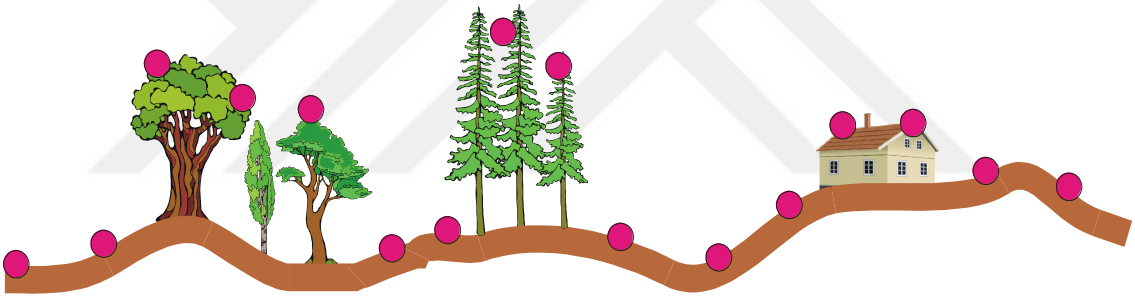
LiDAR nokta bulutu genellikle LAS (Log ASCII Standard) formatında üretilmekte ve saklanmaktadır. LAS formatı ikili (binary) dosya biçimi olup, içeriğinde LiDAR noktalarının X,Y,Z konum bilgisi saklanır. Bunun yanında dosyada bütün noktalara ait yoğunluk bilgisi, dönüş sayısı ve zamanı, ilk son yansıma bilgileri gibi veriler de bulunmaktadır [4]. Milyonlarca noktaya ait bilgilerin içinde tutulduğu text dosyalarının boyutları oldukça büyüktür.



Şekil 2.2 LiDAR nokta bulutu 2B görüntüsü

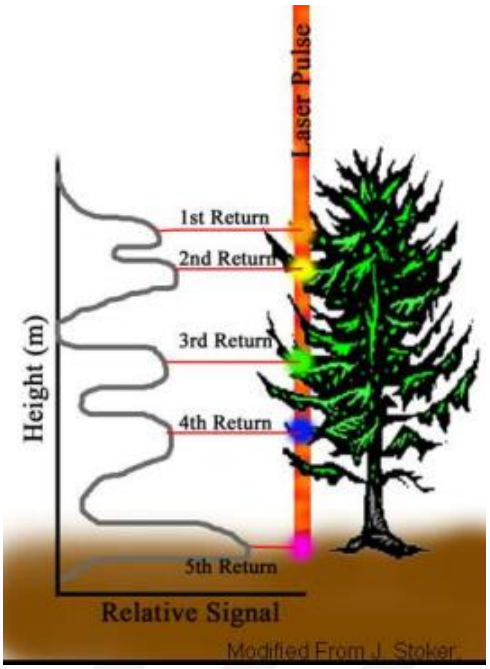


Şekil 2.3 LiDAR nokta bulutu 3B görüntüsü

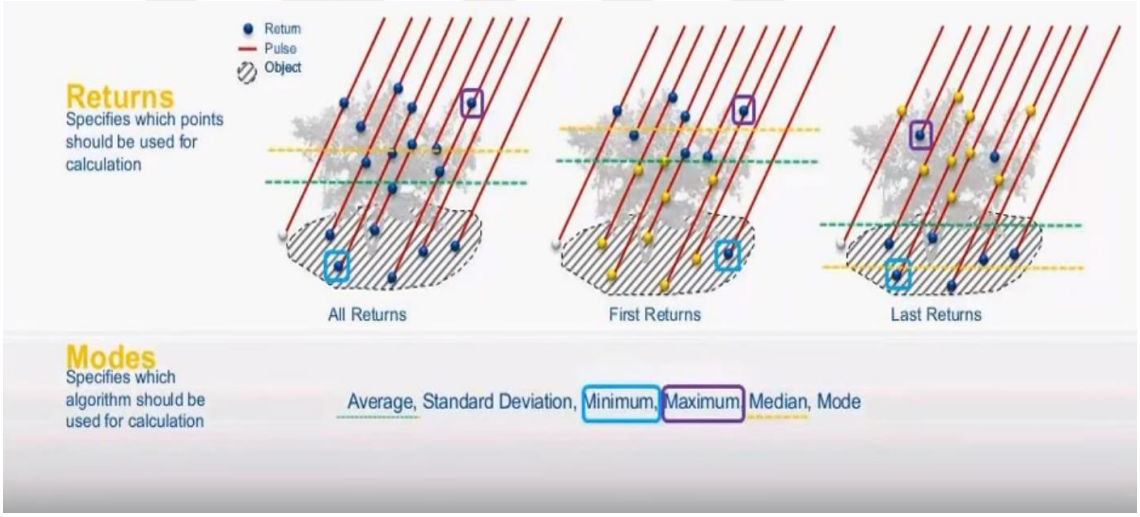


Şekil 2.4 LiDAR noktalarının yüzey üzerinde gösterimi

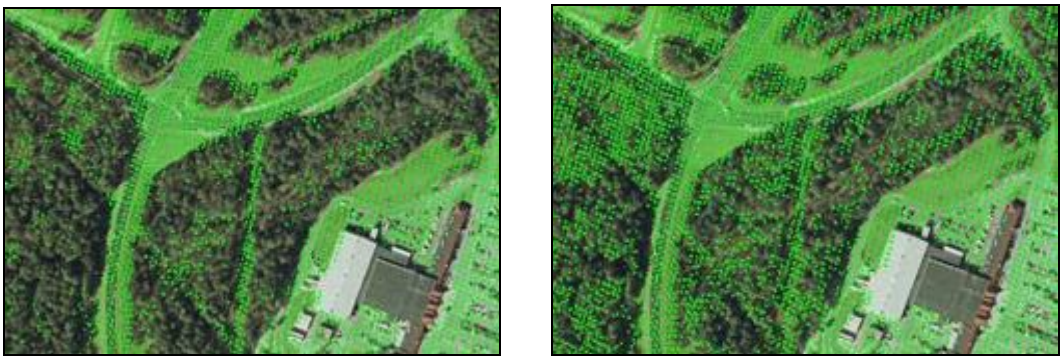
LiDAR sistemlerinin en önemli özelliği çoklu yansıma özelliğidir (Şekil 2.5). İlk ve son yansıma (first and last pulse) değerleri uygulamalarda en çok kullanılan veri olarak saklanmaktadır (Şekil 2.6). İlk yansıma genellikle ağaç yaprakları ve dalları tepesinden olan yasıma iken, son yansıma ise ağaç dalları ve yapraklar arasından arazi durumuna göre zemine (Şekil 2.7) ya da genellikle üzerini kapatan herhangi bir engeli olmayan nesne yüzeylerine çarparak geri dönen yansımalardır. LiDAR, ilk yansıma değerleri ile ağaçlardan elde edilen yoğun veri sayesinde ağaçlık alanların tespiti için sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Çoklu yansıma özelliği [28]



Şekil 2.6 e-Cognition yazılımında nokta bulutu çoklu yansıma öznitelikleri [29]



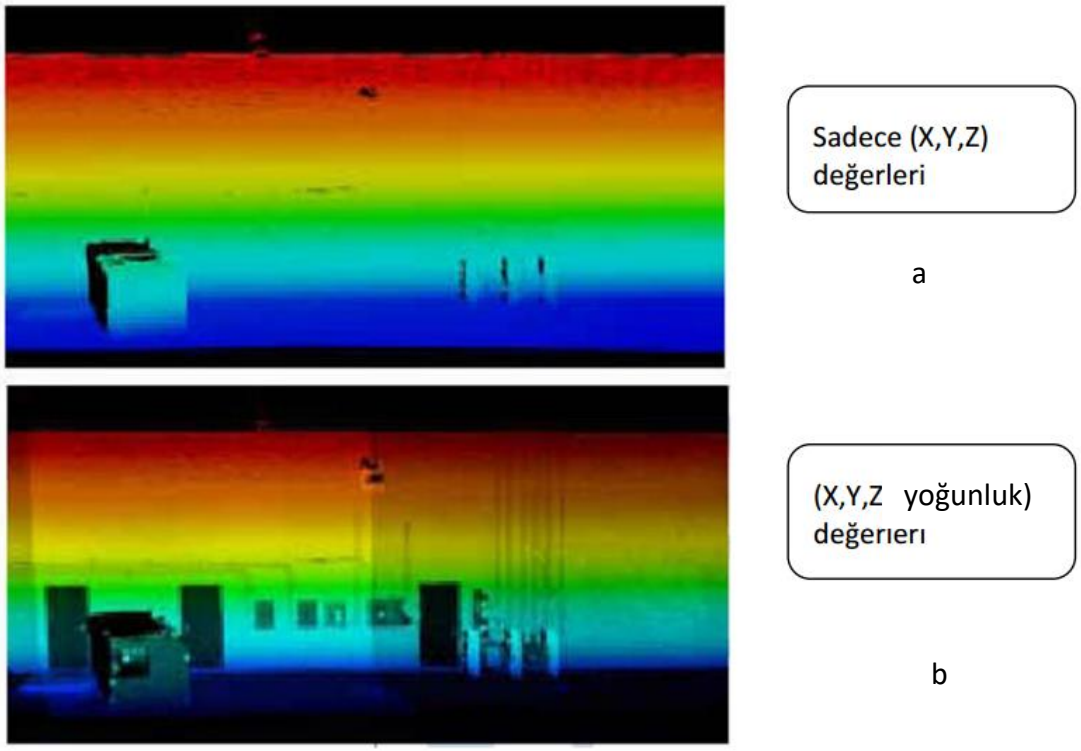
a) b)

Şekil 2.7 Zeminden yansıyan nokta bulutu (a) ve ilk ve son yansımaların birlikte bulunduğu nokta bulutu (b)

Aktif bir uzaktan algılama sistemi olması sebebiyle LiDAR sistemlerinden her mevsimde ve günün herhangi bir saatinde veri elde edilebilmektedir. Bir diğer avantajı ise ormanlık alanlarda ya da engebeli arazilerde harita üretimi yapılmasına olanak sağlamasıdır.

Avantajlarının yanı sıra sistemin dezavantajları ve veri toplanmasında dikkat edilmesi gereken unsurlar bulunmaktadır. Kötü hava koşullarından etkilenmesi, sistemin dezavantajları arasında gösterilmektedir. Ayrıca yüzey özellikleri nokta bulutu doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör olup, özellikle yüzey yansıtıcılığının sebep olduğu saçılma verinin tamlığını etkilemektedir [30].

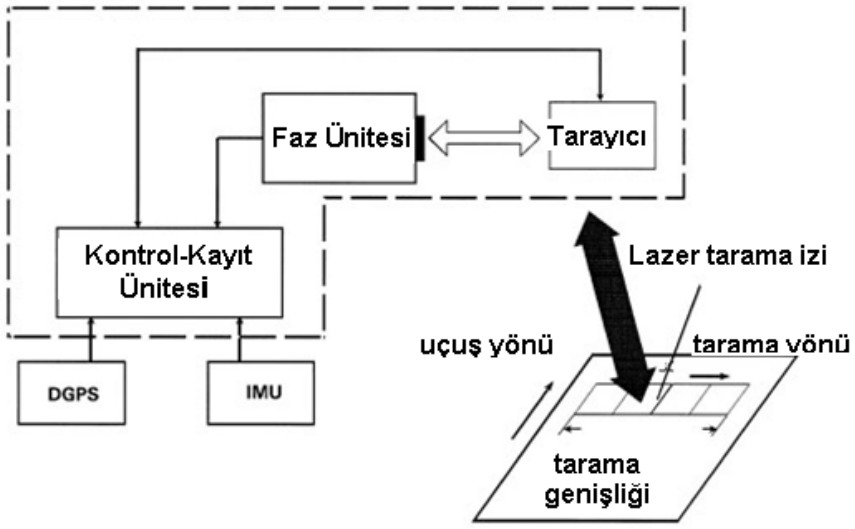
LiDAR sistemleri, yansıyan ışın miktarının ölçülmesi ile elde edilen yoğunluk "intensity" bilgisini de kaydetmekte ve yoğunluk görüntüsü oluşturma imkânı sağlamaktadır (Şekil 2.8). Yoğunluk her nokta için lazer sinyalinin dönüş gücünü gösterir bir ölçüdür ve kısmen lazer sinyalinin çarptığı nesnenin yansıtıcılığına dayanır. Yoğunluk görüntüsü aynı yükseklikteki noktalar için sınıflandırma kolaylığı sağlar [4], [5]. Örneğin farklı yoğunlukların birbirinden ayrılmasında, yeşil alan, ormanlık alan ve ağaç çıkarımında yoğunluk verisi ile başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.8 Sadece (X,Y,Z) (a) ve (X,Y,Z, yoğunluk) (b) verilerine bir örnek [31], [4]

2.1 LiDAR Çalışma Prensibi

Havadan lazer tarama sistemleri, uçak ya da helikopterlerde ki platformlara yerleştirilmiş opto–mekanik tarayıcı, lazer mesafe ölçüm birimi, kontrol-kayıt ünitesi, GPS, IMU'dan oluşan ana bileşenlere (Şekil 2.9) sahiptir [32]. Bu bileşenler ile LiDAR mesafe ölçümü, konum hesaplama, navigasyon, uçuştaki dönüklüklerin belirlenmesi, görüntü ve konum bilgilerinin kaydedilmesi sağlanır.



Şekil 2.9 Lazer tarama sistemi bileşenleri [32], [4]

LiDAR'ın ölçme prensibi yeryüzü ile tarayıcı arasındaki eğik mesafeyi ölçme işlemine dayanır. Lazer tarayıcı tarafından gönderilen sinyallerin yeryüzüne ya da yeryüzündeki objeye çarpıp geri dönmesi esnasında geçen sürenin ölçülmesi LiDAR'ın çalışma ilkesidir. Bu ilkeye göre ışık hızı ve sinyalin gidiş-dönüş süresi ile sinyalin kat ettiği mesafe hesaplanır. Hesaplanan bu mesafe bilgisi ile GPS/IMU bileşenleri ile belirlenen konum ve dönüklük verileri kullanılarak, sinyalin çarpıp yansıdığı her bir nokta için 3B (X,Y,Z) koordinatları belirlenir.

LiDAR sistemleri arazi taramasını uçuş hattı boyunca gerçekleştirir. Daha sonra bu taramalar birleştirilerek arazi modelini ifade eden nokta bulutu elde edilir. Taramalar bindirmeli kolon setleri halinde gerçekleştirilerek arazi modelini ortaya koymak için bu bindirmeler sayesinde birleştirilir.

Mesafe ölçümü için pulse ve faz farkı olmak üzere iki yöntem vardır. Pulse yönteminde sinyalin yeryüzü ile tarayıcı arasındaki gidiş dönüş süresi ölçülür. Buna dayanarak

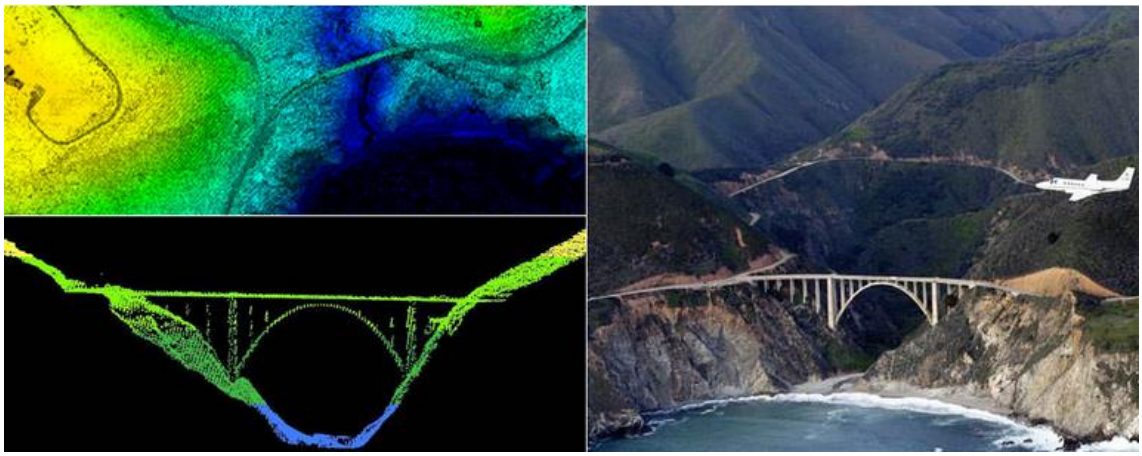
sinyalin çarptığı nokta ile tarayıcı arasındaki eğik mesafe hesaplanır. Faz farkı yönteminde ise mesafe belirlemek için giden ve dönen sinyal arasındaki faz farkı ölçülür. Bu yöntem sürekli dalga lazerlerinde uygulanır ve mesafe sinyal periyodu, giden ve dönen sinyal arasındaki faz farkı, dalga boyu ve sinyalin gidiş dönüş süresi parametreleri ile eğik mesafe olarak hesaplanır.

2.2 LiDAR Uygulama Alanları

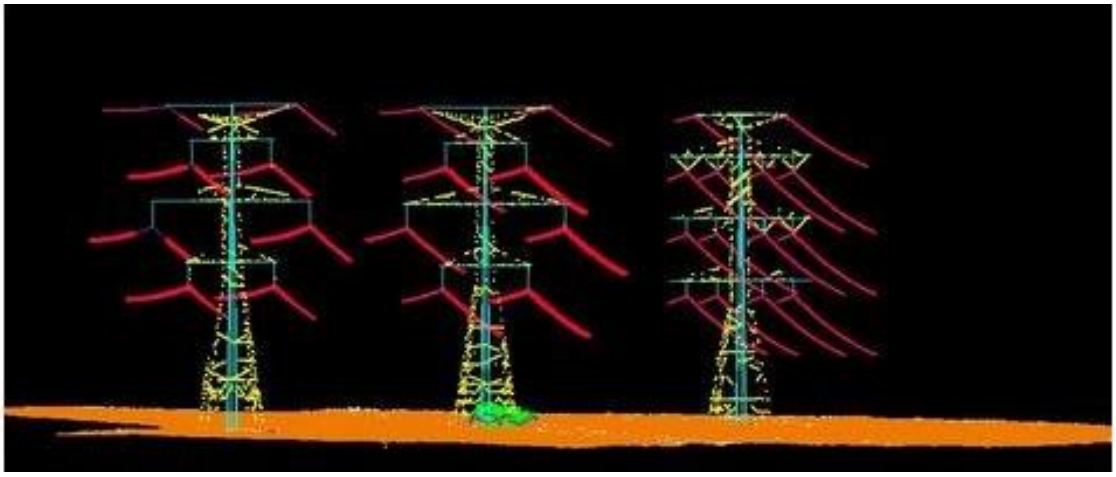
Havadan lazerle toplanan veriler, yüksek doğruluklu yükseklik bilgisi elde etmede ve obje çıkarımında başarıyla kullanılmaktadır. Veri toplanacak alan üzerinde başka yöntemlerle veri toplamanın mümkün olmadığı ya da kısıtlandığı durumlarda LiDAR sistemi alternatif bir yöntem olarak tercih edilmektedir.

Farklı amaçlar için kullanılan LiDAR teknolojisi son derece yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle SAM, SYM ve YM üretimi ile yüzey modelini kullanarak obje çıkarımı gerçekleştirmeyi hedefleyen uygulamalarda tercih edilmektedir. LiDAR sistemleri aşağıda sıralanan ve daha birçok konumsal uygulamada başarılı sonuçlar vermektedir:

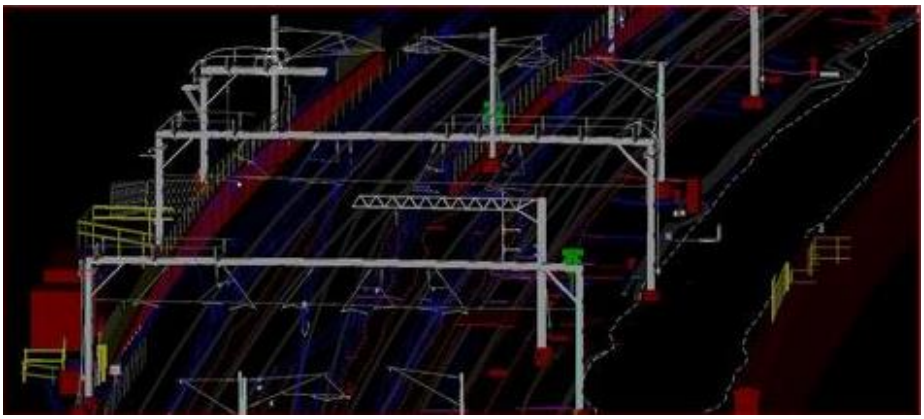
- Sayısal Harita Üretim
- Arazi Kullanımı Belirleme
- Deniz kıyısı ve kumsal hacim değişimleri
- Sel riski analizleri
- Akarsu izleme, değerlendirme (Şekil 2.10)
- Doğal ortam haritalama
- Yenileme çalışmaları (Şekil 2.11)
- Orman yönetimi
- Telekomünikasyon planlama
- Kentsel gelişim ve uygulamaları
- Afet Planlama
- Ulaşım (Şekil 2.12) vb.



Şekil 2.10 LiDAR kullanım alanları – Akarsu izleme, değerlendirme

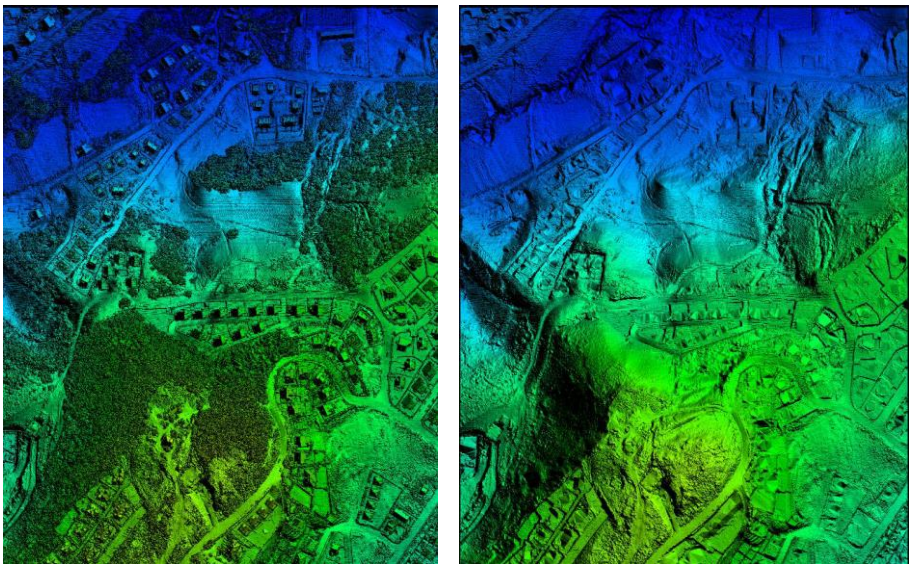


Şekil 2.11 LiDAR kullanım alanları – Enerji hattı

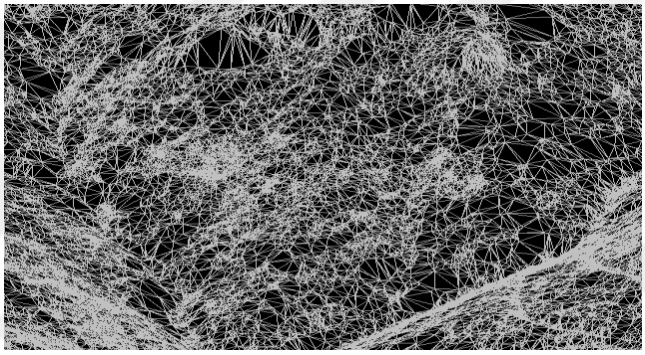


Şekil 2.12 LiDAR kullanım alanları – Sayısal raylı sistem haritası

Ham LiDAR nokta bulutundan YM, SYM (Şekil 2.13), üçgenlenmiş düzensiz ağlar (Triangulated Irregular Network (TIN)) (Şekil 2.14), kırık çizgiler, eş yükseklik eğrileri, gölgeli kabartmalı haritalar, yamaç ve eğim haritaları gibi türetilebilecek birçok ürün vardır [33].



Şekil 2.13 YM ve SYM örnekleri [34]



Şekil 2.14 Üçgenlenmiş düzensiz ağlar [35]

2.3 Ortofoto

Analog ya da sayısal kameralar ile elde edilen hava fotoğraflarında tam düşey fotoğraf elde edilemediğinden eğiklik ve dönüklük etkileri mevcuttur ve bu nedenle hava fotoğrafının her yerinde sabit ölçekten bahsedilemez. Ayrıca arazideki yükseklik farkları da perspektif hatalara ve ölçeğin değişmesine sebep olur.

Ortofoto eğiklik, dönüklük ve diferansiyel alanda yükseklik etkileri giderilmiş, ölçeklenmiş bir haritanın geometrik niteliğine sahip yeniden örneklenmiş bir fotoğraf, görüntü olarak tarif edilebilir [36].

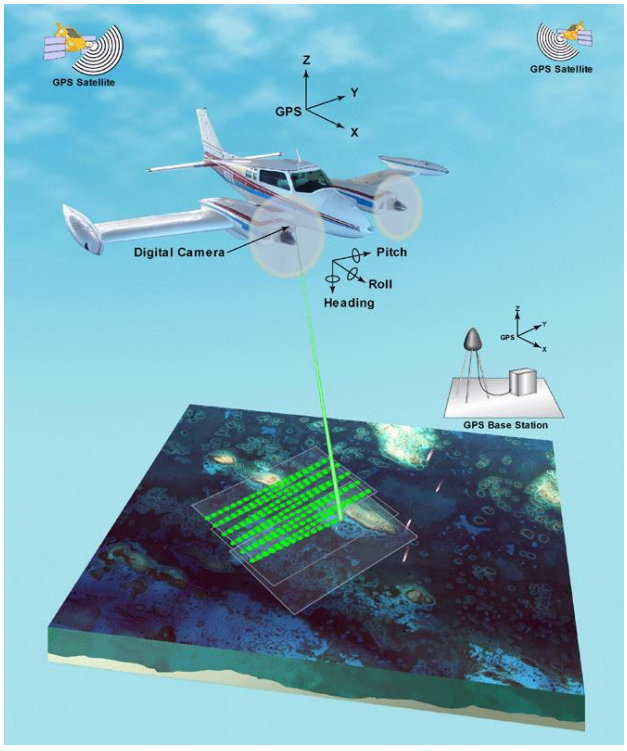
Gelişen teknoloji ile analog kameraların yerini alan sayısal kameralarla yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmektedir. Bunun yanı sıra elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde aynı anda görüntü kaydı [4] yapılabilmektedir. Sayısal kameralarla elde edilen hava fotoğraflarından üretilen ve

bilgisayar destekli sistemler ile yöneltmelerin yapılmasıyla oluşan ortofotolara sayısal ya da dijital ortofoto denilmektedir.

Üretilen ortofotonun ölçeğine bağlı olarak yeryüzü üzerindeki tüm detayların görüntülenebilir olması, arazinin gerçek şekliyle ölçekli olarak sunulması, arazi örtüsünün tespit edilebilmesi ve birden fazla ortofotonun birleştirilmesiyle mozaik üretilebilir. Ortofotonun bu avantajı sayesinde daha geniş bir alanın tek bir görüntü ile temsil edilebilmesi sağlanır [37]. Ayrıca ortofotolar klasik vektör veri üretimine göre üretim hızının oldukça yüksek ve maliyetinin düşük olması sebebiyle CBS için ihtiyaç duyulan mekânsal vektör verilerin üretiminde en fazla kullanılan veri kaynaklarından biridir.

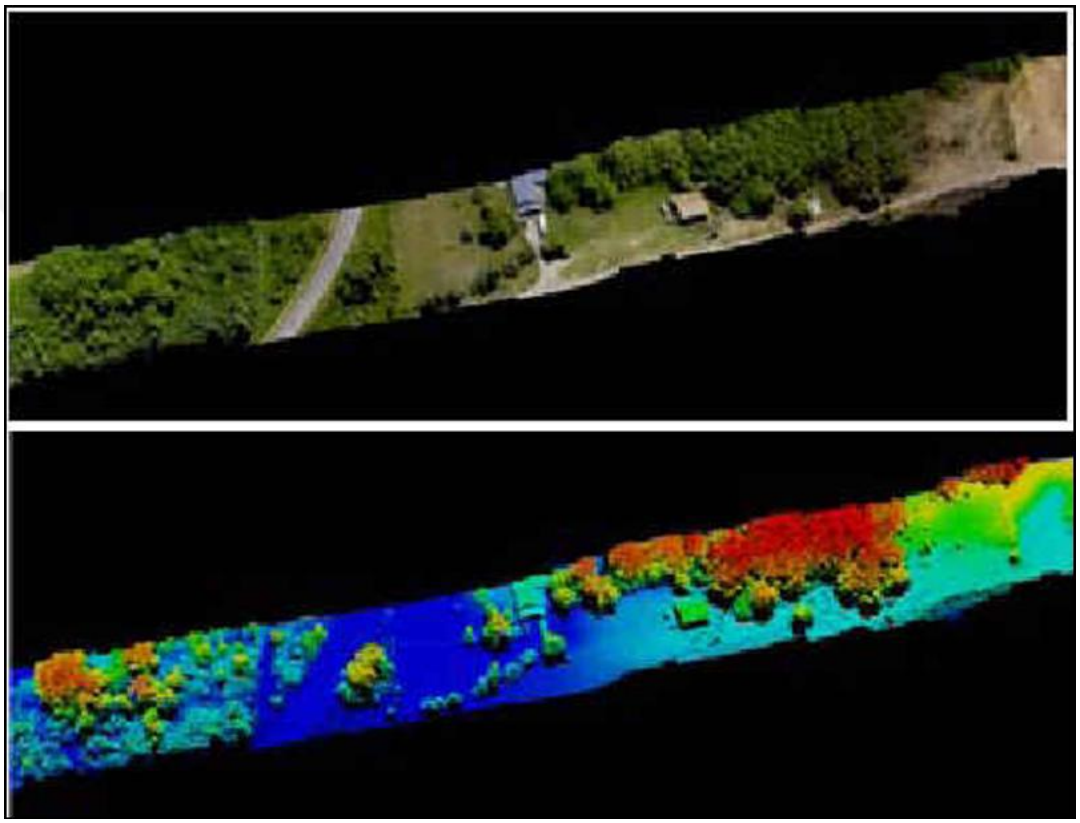
2.4 Çoklu Algılama Sistemi

LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kamera bileşenleri aynı platform üzerine yerleştirilerek çoklu algılama sistemini oluşturur. Bu sistem, içerisindeki bileşenlerin bütünleşik çalışmasıyla konum bilgisini içeren üç boyutlu nokta bulutu, yoğunluk görüntüsü ve hava fotoğrafının eş zamanlı elde edilmesini sağlar. Şekil 2.15'te çoklu algılama sistemi bileşenleri verilmiştir [38].



Şekil 2.15 Çoklu algılama sistemi [38]

Çoklu algılama sistemi bileşenleri içerisinde yer alan aktif algılama sistemi LiDAR, her ne kadar avantajlı bir veri üretim teknolojisi olsa da, obje çıkarımında sınıf karışıklıkları gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Sisteminin bir diğer bileşeni olan sayısal görüntülerin kullanılmasıyla obje çıkarımında karşılaşılan sorunların giderilmesi sağlanabilmektedir. Bu sebeple LiDAR sistemine entegre olarak sayısal kameraların kullanılmasıyla çoklu algılama sistemleri oluşturulmuştur. Şekil 2.16'da çoklu algılama sisteminden elde edilen sayısal görüntü ve LiDAR nokta bulutu örnekleri görülmektedir [4].



Şekil 2.16 Çoklu algılama sisteminden elde edilmiş hava fotoğrafı ve nokta bulutu örneği [4]

Hava lazer tarama sistemleri yeryüzüne saniyede binlerce sinyal göndermekte ve GPS/IMU teknolojisi ile birlikte çalışarak 3B nokta bulutunu doğrudan elde etmektedir. GPS/IMU sistemi havada hareket halindeki araçlarda bulunan düzeneğin bir parçası olan algılayıcının yöneltilmesini sağlamak için konum ve dönüklük bilgilerini elde eder [4]. Lazer ışınının sistemden çıktığı andaki konum ve dönüklük bilgileri GPS/IMU sistemi aracılığı ile belirlenir ve bu veriler kullanılarak yer yüzeyine ait noktanın X,Y,Z koordinatları hesaplanır [5].

Sayısal kameralarda görüntü kaydı, kamera bünyesindeki ışığa karşı hassas olan silikon detektör yardımıyla yeryüzünden yansıyan ışık enerjisinin elektrik sinyallerine dönüştürülmesi sonrasında bu sinyallerin gri değerlere dönüşümü ile gerçekleşmektedir. Charge Couple Device (CCD) 1969 yılında geliştirilmiş olup, günümüzde de kullanılmaktadır [39]. Sayısal kameralar teknolojinin gelişmesiyle analog kameraların yerini almış, analog filmin banyo ve tarama işlemini ortadan kaldırarak yüksek radyometrik çözünürlüğe sahip renkli ya da yapay renkli görüntülerin eş zamanlı elde edilmesine olanak sağlamıştır.

BÖLÜM 3

OBJE ÇIKARIMI

Obje çıkarımı görüntü üzerindeki nokta, kenar ve alanların anlamlandırılarak gruplanması ve bu grupların anlamlı sınıf bilgisi ile birlikte uygun veri tipinde sunulmasıdır. Obje çıkarımında bir objeyi diğerlerinden ayırmayı sağlayan objenin dış hatlarının geometrik şeklini temsil edecek şekilde yakalanması işlemi gerçekleştirilir [40]. Bunların yanı sıra obje çıkarımı, mekânsal veri üretiminde amaca uygun olarak belirlenen hedef sınıflarda objelerin temsil edilmesi için sınıf çıkarımı olarak da ifade edilmektedir. Obje çıkarımı için literatürde obje yakalama, detay çıkarımı, obje modelleme [4] gibi farklı kavramların kullanıldığı görülmektedir.

Obje çıkarımı arazi kullanımını ifade etmek için ya da yeryüzüne ait olmayan bina, ağaç, köprü, yol gibi özel nesneler hakkında bilgi çıkarmak için kullanılabilir. Teknolojinin gelişmesi ve farklı algılama sistemlerinden yüksek çözünürlüklü sayısal verilerin elde edilmesiyle obje çıkarımında otomatik ve yarı otomatik yöntemler denenmeye başlanmıştır. Otomatik obje çıkarımı için bu yöntemler ilk olarak 80'li yıllarda araştırılmış, 90'lı yıllarda ise bu konuya ilgi artmıştır [19]. Nesnelerin otomatik tespiti son yıllarda gelişen bilgisayar görüntü teknolojileri ile önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu araştırmalarda farklı yöntemlerle elde edilen verilerden farklı yöntemler kullanılarak nesnelerin otomatik olarak çıkarım olanakları incelenmiştir. Örneğin nesnelerin çıkarımı için bazı araştırmacılar sadece görüntü verisi kullanırken bazısı sadece LiDAR verisini kullanmış, bazı araştırmalarda ise bu iki veri bütünleşik olarak kullanılmıştır.

Teknolojik olarak sayısal hava kameralarının, insansız hava araçlarının ve lazer tarama sistemlerinin gelişmesi ve bu veri sağlayıcılardan elde edilen yüksek kalitedeki veri

setleri objelerin otomatik tespiti için yeni imkânlar sunmaktadırlar. Aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemleri, kentsel alanlardaki bina, yeşil alan gibi objelerin otomatik çıkarımı için tercih edilmekte ve bu sistemin sağladığı imkânlar sayesinde obje çıkarımında karşılaşılan sınıf karışıklıklarının önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Özellikle binalar pek çok konumsal bilgi kullanan uygulama için önemli nesnelerdir. Bu sebeple özellikle binaların çıkarımına yönelik araştırmalarda otomatik obje çıkarımından faydalanılmıştır. Bina verisi her zaman mevcut ya da ihtiyacı karşılayacak kadar yeteri derecede hassas veya güncel olmayabilir, eksik olabilir. Bu yüzden yapılan araştırmalarda hassas ve eksiksiz bina nesnelerinin hızlı ve doğru bir şekilde güncellenmesi için farklı yöntemlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Obje çıkarımı, kentsel alanlardaki nesnelere ait bilgi çıkarımı ve zamansal değişimin izlenmesi için ihtiyaç duyulan verilerin elde edilmesinde kullanılacak altlıkların üretilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde halen popüler bir araştırma konusu olan obje çıkarımında kullanılan verilere ve hedefe göre yüksek doğrulukta veri elde etmek için uygun yöntemlerin seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçlara ek olarak sayısal görüntü analizleri ile CBS için doğrudan veri üretimi kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir [4]. Literatürde obje çıkarımı için Dempster Shafer, Snake metotları, Hough transformasyonu, Douglas-Peuker algoritması, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi yöntemlerin de kullanıldığı görülmüştür [5].

Bu bölümde sayısal görüntü analiz yöntemlerinden filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri ile otomatik obje çıkarımı ele alınmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda sınıf doğruluklarını belirlemek için gerçekleştirilen doğruluk analizi yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Filtreleme başlığı altında LiDAR nokta bulutu verisinin filtrelenmesi ile ilgili bilgilere yer verilmiş olup, LiDAR verisinden otomatik obje çıkarımı işlem adımları anlatılmıştır.

3.1 Obje Çıkarımında Görüntü Analiz Yöntemleri

Obje çıkarımı bir ön adım olan görüntü işleme aşamasından sonra gerçekleştirilen görüntü analizinden oluşmakta olup, analiz aşamasında görüntü yorumlanarak bilgi çıkarımı yapılmaktadır [41]. Görüntü analizi, görüntüdeki objelerin şekil, büyüklük, sınır ve komşuluk ilişkileri, birbirlerine olan uzaklıkları gibi özelliklerin yorumlanması ile gerçekleştirilmektedir [4].

Obje çıkarımı konusunda yapılan araştırmalarda geliştirilen görüntü analiz yöntemleri incelendiğinde, obje çıkarımının görüntü sınıflandırma, spektral karışmama, doğrusal detay çıkarımı, zamansal değişim, morfolojik bilgi çıkarımı (filtreleme işlemleri) ve istatistiksel regresyon [42], [4] olmak üzere 6 başlıkta toplandığı görülmüştür. Bu kapsamda Uzar Dinlemek [4], obje çıkarım yöntemlerini 3 alt başlıkta ele almıştır:

1. Bilgisayarlı görüntüleme
2. Sayısal görüntü işleme
3. Sınıflandırma

Bilgisayarlı görüntüleme teknikleri uzaktan algılama ve fotogrametride görüntüden anlamlı bilgi çıkarımına hizmet ederler. Bu açıdan bakıldığında görüntüde yer alan objelerin geometrik olarak tanımlanması ve topolojik ilişkilerinin kurulması ile anlamlı bilgi elde edilerek obje çıkarımı gerçekleştirilir. Objelere ait detayların nokta, çizgi ya da alan olarak objeyi temsil edecek şekilde çıkarımı ile objenin geometrik olarak tanımlanması sağlanır. Topolojik olarak ise bir objenin temsil edilmek istenen veri formunda gösterimi sağlanır. Örneğin bir alan objesi olan binalar ihtiyaca göre alanın merkezine atılan bir nokta ile ya da kenar detaylarını belirleyen çizgilerin birleşmesiyle alan formunda sunulabilir [4]. Sayısal görüntü işlemede gerçekleştirilen işlemlerle yeni görüntüler oluşturmak hedeflenir. Obje çıkarımı için sayısal görüntü işleme ise orijinal görüntü üzerinde temel görüntü işleme algoritmalarından faydalanarak bazı ön işleme adımlarının gerçekleştirilmesidir. Literatürde obje çıkarımı için kullanılan görüntü işleme teknikleri olarak kenar yakalama, çizgi yakalama, yumuşatma, filtreleme, segmentasyon, piksel komşuluklarına göre kapanma, açılma, birleşme, ayrılma gibi yöntemler bulunmaktadır [4]. Bunlar içinde en çok kullanılanları filtreleme ve segmentasyon yöntemleridir. Sınıflandırma ise görüntüyü anlamlı kılmak için

gerçekleştirilen ve görüntü üzerinde benzer ya da aynı özellikteki homojen dağılımlı piksellerin bir araya toplanarak gruplanmasıdır. Sınıflandırmanın kendi içinde yöntemleri bulunmakta olup, sınıflandırma işlemi ve yöntemleri bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Bu çalışmada filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri ile obje çıkarımı gerçekleştirilmiş olup, bu bölümde bu işlem adımlarına ait bilgiler yer almaktadır.

3.1.1 Filtreleme

Görüntü filtreleme işlemleri, görüntülerdeki bazı ayrıntıların daha belirgin hale getirilmesi, ortaya çıkarılması ya da gürültü olarak adlandırılan görüntü üzerindeki istenmeyen değerlerin ortadan kaldırılması amaçlı gerçekleştirilirler. Görüntü filtrelemede kenar keskinleştirme, kenar yakalama, görüntü yumuşatma gibi teknikler kullanılabilir. Bu teknikler kullanılarak orijinal piksel gri değerlerinin yeniden belirlenmesiyle yeni görüntü oluşması filtreleme işleminin sonucudur.

LiDAR nokta bulutunun filtrelenmesi ise veri içindeki gürültülerin ortadan kaldırılması ya da nokta bulutundaki bilgilerden maksimum düzeyde yararlanmak üzere bilgi çıkarımı sağlamak için gerçekleştirilirler. LiDAR için özellikle morfolojik filtreler uygulanarak noktalar arasında bağlantı kurulmaya çalışılır ve geometrik bilgi çıkarımı sağlanır. LiDAR nokta bulutunun filtrelenmesinde amaca yönelik olarak farklı yöntemler de kullanılabilir. Gajski vd. [43], filtreleme için ilk ve son yasıma, doğrusal kestirim ile iteratif sağlam enterpolasyon (iterative robust interpolation with linear prediction), hiyerarşik sağlam enterpolasyon (hierarchic robust interpolation), morfolojik filtreleme, çift kademe filtreleme (dual – rank filter), eğim bazlı filtreleme (slope based filtering) yöntemlerini ele almıştır. Bunların dışında literatürde spline yaklaşımı (Spline – Approximation) [13] ve grid bazlı filtreleme (grid based filtering) [15] yöntemleri de yer almaktadır.

Bu filtreleme yöntemlerinden ilk ve son yansımada LiDAR sistemlerinin çoklu yansıma özelliğinden faydalanılır ve noktaların tarayıcı sisteme olan mesafesine göre ilk ya da son yansıma olarak belirlenmesiyle amaca uygun şekilde ayrılması işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem genellikle ormanlık alanların çıkarımı için kullanılır. Nokta

bulutu içinde gerçek arazi yüzeyi ile arazi dışı noktalar (binalar, kentsel objeler vb.) arasındaki uyumsuzluklara sebep olan hatalar vardır. Doğrusal kestirim ile iteratif sağlam enterpolasyon filtreleme yaklaşımında bu hataların normal dağılmadığı kabul edilir ve SAM üzerinden doğrusal tahmin ile enterpolasyon gerçekleştirilerek uyumsuzluklar giderilebilir. İlk enterpolasyonda herhangi bir kaba hatanın varlığına dair bir varsayım olmadan işlem gerçekleştirilir ve bir sonraki adımda enterpolasyonlu yüzey ile her bir ölçüm arasındaki farklar hesaplanarak elde edilen ağırlık fonksiyonuna dayanarak hatalar giderilir. Bu yaklaşım LiDAR verilerinin filtrelenmesine oldukça uygundur [43]. Hiyerarşik sağlam enterpolasyon yaklaşımı ise iteratif sağlam enterpolasyon yöntemi ile izin verilen seviyeye kadar inceltilen arazi modelinin daha yüksek çözünürlükte veriler ile karşılaştırılması esasına dayanır. Verilerin sağlam doğrusal tahmin ile filtrelenmesinden ve ilk SAM yaklaşımının üretilmesinden sonra, veriler daha yüksek çözünürlükteki verilerle karşılaştırılır ve belirli aralıktaki noktalar bir sonraki yinelemeye alınır. Yöntem, tüm veriler sınıflandırılıncaya kadar daha yüksek çözünürlük seviyesinde verilerle yinelenir [43]. Arazi dışı noktaları kaldırmak için yaygın olarak kullanılan bir diğer kavram morfolojik analizdir. Morfolojik analizler, bir görüntüdeki özelliklerin şekli veya morfolojisi ile ilgilenen bir dizi doğrusal olmayan görüntü işleme tekniğini açıklar. Morfolojik işlemler, yapılandırma elemanı olarak bilinen küçük bir şekil veya kalıp kullanır. Bu öğe, görüntüdeki tüm olası konumlarda bulunur ve karşılık gelen piksellerin çevreleriyle karşılaştırılır. Bilinen en ilkel morfolojik işlemler dilatasyon ve erozyon ya da başka deyişle genişletme ve daraltmadır. Çıplak arazi yüzeyinin çıkarılması için LiDAR verilerinin filtrelenmesinde basit ve hızlı bir yöntem olması sebebiyle yaygın olarak morfolojik filtreler kullanılır [43]. Çift kademe filtreleme bir pikselin sıralama değerini esas alarak çalışır. Yapılandırma elemanına göre değerleri sıralar ve birini seçer. Bu seçilen değere göre görüntüde genişleme ya da daralma meydana gelir. Eğim bazlı filtreleme yöntemi ise çıplak arazi yüzeyi ile YM arasındaki eğim farkından yararlanarak çalışır. Vosselman [14], bu eğim farkını kullanarak arazi – obje noktası ayırımını gerçekleştirmiştir. Gridlere bölünen çalıma bölgesindeki her bir grid içinde en az bir nokta bulunacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Birden fazla noktanın grid içinde bulunması durumunda yüksekliği düşük olan nokta seçilir. Yer noktası olarak seçilen noktalara göre belirlenen eşik değere ve belirlenen

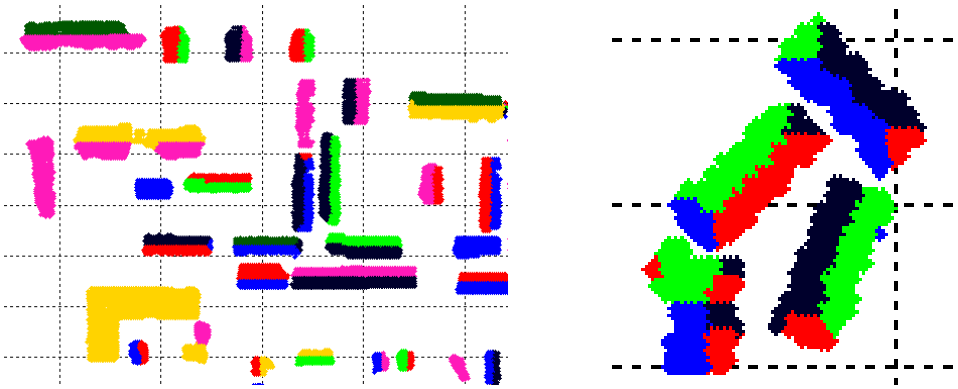
maksimum eğime göre noktaların ayırımı gerçekleştirilir. Wack ve Wimmer [15], düzenli dağılmış bir veri ile işlem gerçekleştirmek için rasgele dağılmış ham nokta bulutunun gridlenmesine ihtiyaç duyulduğunu, bunun da grid bazlı yaklaşım ile gerçekleştirileceğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımda her raster elemanı büyüklüğüne bağlı olarak birçok ham veri noktası içerir. Her raster elemanı sadece bir ağırlık değeri ile sunulabildiğinden, bu ağırlığı doğru bir şekilde tanımlamaya dikkat edilir.

Lohmann vd. [13], LiDAR verilerinin filtrelenmesiyle YM'den SYM üretimi için tam otomatik bir yaklaşımın kullanılmasının avantajlı olacağını, fakat filtreleme algoritmalarında kullanılan metotların hemen hepsinin hala geliştirilmeye ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. LiDAR nokta bulutu verisinin filtrelenmesine yönelik bu çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin ayrıntılı bilgiler bu bölümde yer alan LiDAR verilerinden obje çıkarımı başlığı altında anlatılmıştır.

3.1.2 Segmentasyon

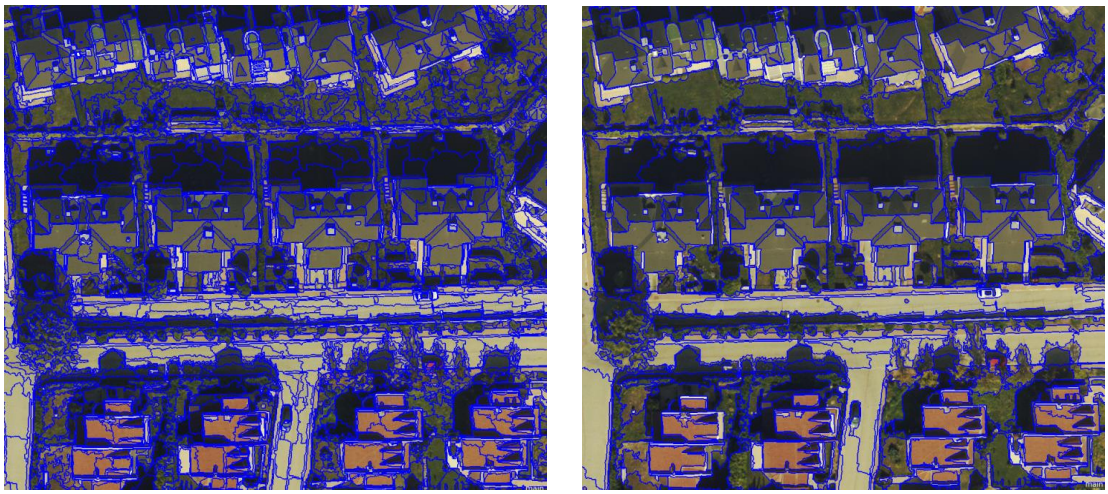
Segmentasyon görüntülerin analizi için oldukça önemli bir işlem adımıdır ve görüntüyü anlamlı bölümlere ayırmak için gerçekleştirilen bir işlemdir. Oluşturulan segmentlerin birbirleri ile ilişkisi bulunmamaktadır. Segmentasyon işlemi gerçekleştirilirken objelerin, bölgenin karakteristik özellikleri baz alınarak ayırma yapılmaktadır.

Segmentasyon yöntemi ile obje çıkarımında kullanılan görüntü homojen bölgelere ayrılır. Segmentlerin oluşturulması için ölçek, bütünlük, şekil, parlaklık, eğim vb. gibi özellikler kullanılır [4]. Bu işlem ile bir piksele ilişkin özelliklere ait değerler, diğer tüm pikseller ile karşılaştırılmakta ve benzer özellikteki pikseller aynı segment içine alınmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Bina çatısı segmentasyonu [44]

Otomatik obje çıkarımında tercih edilen segmentasyon yöntemleri çoklu çözünürlüklü, satranç tahtası ve kontrast ayırma segmentasyonudur. Çoklu-çözünürlüklü segmentasyon yönteminde farklı ölçek, şekil ve bütünlük parametreleri kullanılarak görüntüyü bölgelere ayırma algoritması uygulanır. Bu segmentasyon metodu, ortalama heterojenliği en aza indirgeyen ve segmentlerin homojenliğini bir bir maksimize eden bir optimizasyon işlemidir [45]. Ölçek, şekil ve bütünlük parametreleri objenin şeklini belirlemek için spektral homojenliği, bütünlük ve yumuşaklığı ve kenarları baz almaktadır [4]. Ölçek parametresi detayları yakalamak için küçük, geniş alanların uygun şekilde segmentlere bölünmesi için büyük değerlerde seçilmelidir (Şekil 3.2). Çoklu-çözünürlüklü segmentasyon yöntemi birden fazla görüntüyü kullanarak işlemin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Her bir görüntü için farklı ağırlık değerleri dikkate alınarak objelerin birbirinden ayrılması için işlem yapılabilmektedir. Bu sayede segmentasyonda tek bir görüntünün baz alınarak işlem yapılması durumunda karşılaşılabilecek hatalardan kaçınılabilmektedir. Satranç tahtası segmentasyonu objeleri belirlenen büyüklükte karelere bölme yöntemidir (Şekil 3.3). Amaca yönelik olarak karelerin boyutları küçültülerek detayların yakalanmasına imkân sağlanır. Kontrast ayırma segmentasyonu farklı kontrasta sahip objelerin obje sınırlarının yakalanması için kullanılmaktadır [4].



Şekil 3.2 Farklı parametreler ile gerçekleştirilen çoklu çözünürlüklü segmentasyon örnekleri



Şekil 3.3 Satranç tahtası segmentasyon örneği

3.1.3 Sınıflandırma İşlemi ve Yöntemleri

Sınıflandırma, görüntüyü anlamlı hale getirmek için görüntüde aynı ya da benzer özelliklere sahip homojen dağılımlı piksellerin hedefe uygun şekilde gruplanarak görüntünün içerdiği bölgenin yüzey özelliklerine veya arazi kullanım tiplerine ayrılmasıdır. Sayısal görüntü sınıflandırma, görüntü bantları üzerindeki spektral bilgilere göre piksellerin sınıflandırılmasıdır [9]. Sınıflandırma sonucunda görüntünün tematik haritası oluşur ve bu haritadaki her piksel karakteristik bir özelliğine göre bir sınıfa atanmıştır [46]. Sınıflandırma işlemi ile görüntü daha anlamlı ve sorgulanabilir hale getirilir. Yöntem olarak en yakın komşuluk yaklaşımını baz alan örnek tabanlı sınıflandırma ya da yeterince örnek bulunmadığı durumlarda kümeleme yaklaşımıyla gerçekleştirilen bulanık mantık tabanlı sınıflandırma tercih edilmektedir [4].

Bulanık mantık, Acar ve Bayram'a [47] göre her gün kullandığımız ve davranışlarımızı yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantık kesin olmayan ve kesin ifadelerin arasında kalan belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilmesini sağlar. Kümeleme yaklaşımını baz alan bulanık mantık tabanlı sınıflandırmada bir objenin ya da pikselin bir kümeye ait olma olasılıkları üzerinden

işlem yapılır ve sınıflandırma işlemi bulanık küme kavramı ile gerçekleştirilir. Bu aitlik olasılıkları üyelik dereceleri ile ifade edilir ve üyelik derecesi 1 ile 0 arasında değişir. Özellikle sınıf karışıklıklarını gidermek için otomatik obje çıkarımlarında bulanık mantık yöntemi ile sınıflandırma tercih edilmektedir.

Marangoz [46] sınıflandırmayı nesnelerin, sınıfı tanımlayan özelliklere göre uygun olduğu sınıfa atamak olarak tanımlamakta ve geçişli/geçişsiz sınıflandırma şeklinde ayırarak incelemektedir. Uzar Dinlemek [4] ise bir bilgi çıkarım yöntemi olarak ifade ettiği sınıflandırmayı kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olarak ikiye ayırmakta ve veri işleme yöntemlerine göre; nokta, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma olmak üzere üç başlıkta ele almaktadır.

Kontrollü sınıflandırmada görüntüdeki hedef sınıflar önceden belirlenerek, incelenecek alanda yer alan yeryüzü özeliklerini gösteren sınıfları temsil edecek kadar yeteri sayıda denetim alanı seçilir. Görüntüdeki spektral değerler, seçilen denetim alanları ile karşılaştırılarak, piksellerin en çok benzerlik gösterdiği sınıfa atanması sağlanır. Bu karşılaştırmayı yapmak için kullanılan çok sayıda yöntem bulunmakta olup, bu yöntemler matematiksel ve istatistiksel kavramlara dayanır. En kısa uzaklık, paralelkenar, Mahalanobis uzaklığı ve en çok benzerlik sınıflandırıcıları kontrollü sınıflandırmada kullanılan yöntemlerdir [48].

Kontrolsüz sınıflandırmada ise bir kullanıcı müdehalesi yoktur ve işlem otomatik olarak gerçekleştirilir. Kullanıcı sadece işlem sonucunda oluşmasını istediği sınıf sayısını belirler. Literatürde kümeleme olarak da kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan algoritma, görüntü verisindeki homojen spektral kümeleri belirler [8]. Kullanılan en yaygın yöntem, istatistiksel hesaplamaya dayanan iteratif olarak sınıflandırmayı gerçekleştiren tekrarlı veri analiz yöntemidir [4]. Kontrolsüz sınıflandırma minimum uzaklığı temel alan bir kuralla gerçekleşir.

Otomatik obje çıkarımında ise hedef sınıflar belirlenerek, bu sınıflara atanacak objelerin belirleneceği kuralların yazılabilmesi için parametre analizi yapılır. Bu parametreler ile yazılan kurallar yardımıyla sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Otomatik obje çıkarımında kullanılan sınıflandırma yöntemleri nokta, piksel ve nesne tabanlı olarak üçe ayrılmaktadır. Nokta tabanlı sınıflandırma, lazer tarayıcılar ile elde

edilen nokta bulutundaki homojen özelliklere sahip noktaların bir gruba atanarak sınıflandırılması işlemidir. En yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemi olan piksel tabanlı sınıflandırmada objelerin yansıma değerleri kullanılır. Objeyi oluşturan piksellerin spektral yansıma değerlerindeki farklılıklar baz alınarak en çok benzerlik gösteren piksellerin aynı sınıfa atanmasıyla sınıflandırma gerçekleşir. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ise incelenecek bölgedeki nesneleri şekil, renk, yüzey homojenliği, yükseklik, spektral yansıma değeri gibi özelliklerine göre ayırarak sınıflandırmayı gerçekleştirir. Bu yöntem çalışma alanına uygun olarak seçilen parametrelere göre görüntüyü bölümleyen segmentasyon işlemi ile oluşan segmentlerin sınıflandırılması şeklinde uygulanır. Görüntüde objeyi benzer özelikler gösteren pikseller oluşturur. Bu piksellerin bir araya gelerek oluşturduğu segmentler büyüklük, yoğunluk, yükseklik, obje sınır ilişkisi, standart sapma gibi görüntü üzerinden elde edilecek değerler ile belirlenen şartlara uygun olacak şekilde sınıflara atanır.

3.1.3.1 Doğruluk Analizi

Sınıflandırma performansının doğruluğu sonuç verinin kullanımı açısından önemlidir. Sınıflandırma doğruluğu çeşitli analizler ile belirlenir. Bu analizlerde istatistiksel hesaplamalar yapılır. Genel olarak elde edilmek istenen sonuç ürüne göre tercih edilen sınıflandırma yöntemi doğruluğu belirleyen en önemli etkendir.

Literatürde örnek seçimi ve Kappa hesabı tercih edilen doğruluk analizi yöntemidir. Bir diğer yöntem ise referans veri ile sınıflandırma sonucunda çıkarılan objelerin bütünlük ve eksikliğinin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen yüzde hesabıdır.

Örnek seçimi ve Kappa hesabında hata matrisi oluşturularak doğruluk analizi gerçekleştirilir. Hata matrisini oluşturmak için seçilen örneklerin sayısı ve örneklerin dağılımı doğruluk hesabını etkileyen önemli parametrelerdir. Merril ve James [41] tarafından örnek sayısının (3.1) eşitliğinde belirtildiği şekilde hesaplanarak doğruluk analizinin gerçekleştirilmesi önerilmiştir. Merril ve James'e [41] göre örnek belirlemede (3.1) eşitliğindeki hesabın yanı sıra dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlar:

- Örnek sayısı ne kadar fazla olursa, elde edilen tahmin o kadar temsilidir ve bu nedenle daha fazla güven elde edilebilir.
- Her sınıf için uygun bir değerlendirme yapabilmek için, her sınıfa minimum örneklem büyüklüğü uygulanmalıdır.
- Daha az değişkenlik gösteren veya daha az önemli bir sınıfa daha az sayıda örnek tahsis edilebilir.

$$N=Z^2p*(100-p) / e^2 \quad (3.1)$$

N: Örnek sayısı

p: Beklenen yüzde doğruluğu

Z: Çift taraflı normal dağılımdan gelen güven aralığı değeri

e: İzin verilen hata yüzdesi

Hata matrisi genel doğruluğun ve sınıf bazında doğruluğun hesaplanmasını, Kappa analizin gerçekleştirilmesini sağlar. Genel doğruluk hata matrisi köşegen elemanlarının satır ya da sütun toplamına bölünmesiyle elde edilirken, Kappa değeri (3.2) eşitliğine göre matrisin satır ve sütun toplamları ile köşegen elemanları kullanılarak hesaplanır. Kappa değeri sonuçları [0-1] aralığındadır. Sonuç (0.00) ise sınıflandırma sonucu ile referans veriler arasında uyuşum yoktur, değer (1.00) ise tam uyuşumludur. Literatürde Kappa değeri (0.75) ve üzerinde ise sınıflandırma performansı iyi, (0.40)'ın altında ise performans yetersiz olarak kabul edilir.

$$\kappa = N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} x_{i+} * x_{+i} \; / \; N^2 - \sum_{i=1}^{r} x_{i+} * x_{+i} \quad (3.2)$$

N: Hata matrisindeki toplam nokta sayısı

r: Sınıf sayısı

x_{i+}: Satır Toplamı

x_{+i}: Sütun Toplamı

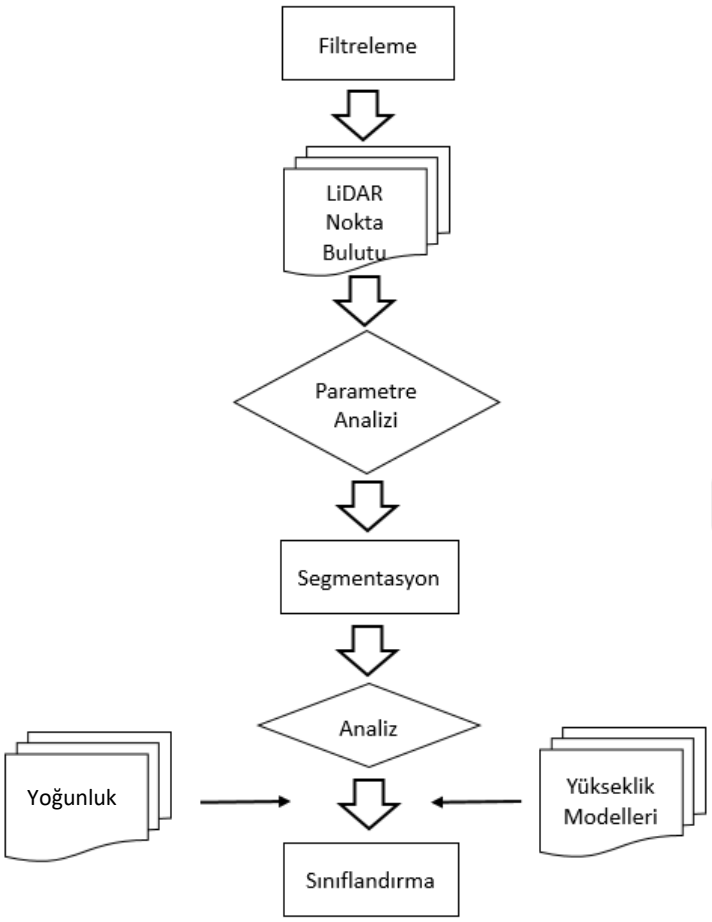
x_{ii} : Hata matrisi köşegen elemanlarıdır.

3.2 LiDAR Verilerinden Obje Çıkarımı

Nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile LiDAR verilerinden obje çıkarımı yapmak için aşağıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

1. Filtreleme
2. Segmentasyon
3. Sınıflandırma
4. Doğruluk analizi

Filtreleme ile yükseklik verilerinin oluşturulması işleminden sonra uygulama içerisinde oluşturulan kural setleri ve parametre analizlerinin gerçekleştirilmesi ile segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilerek hedef objeye ulaşılmaya çalışılır (Şekil 3.4).



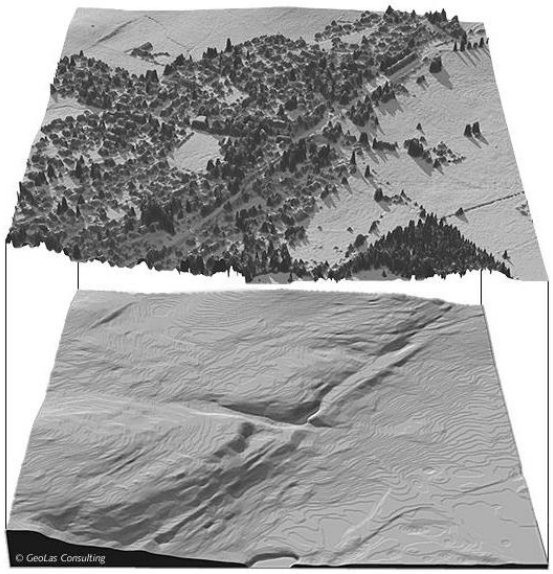
Şekil 3.4 LiDAR verilerinden otomatik obje çıkarımı işlem şeması

3.2.1 LiDAR Verilerinin Filtrelenmesi

LiDAR sistemleri verisi olan 3B nokta bulutu SYM üretimi için kullanılmaktadır. Fakat lazer taramasında sadece yer noktaları değil yeryüzündeki objelere ait noktalar da veri olarak toplanmaktadır. Bu nedenle ham nokta bulutu verisine öncelikle filtreleme işlemi uygulanmaktadır. Filtreleme, LiDAR verilerinden yükseklik modeli üretimi için en büyük etkendir [11].

LiDAR ile toplanan orijinal veri sadece yer yüzeyini değil, üzerindeki ağaç ve bina çatıları gibi insan yapımı objelere ait verileri de içerir. Bu veri YM olarak ifade edilir. YM içindeki objeleri ayıklamak ve bir SYM oluşturmak gerekir. YM'den ağaçların ve binaların kaldırılmasıyla oluşturulan SYM, yer yüksekliklerini ifade eder. Bu işleme filtreleme denir [49].

Başka bir ifadeyle filtreleme, LiDAR nokta bulutu içerisindeki noktaların çıplak yeryüzüne ait olup olmadığının belirlenmesi işlemidir. Filtrelenerek elde edilen yüzey noktaları kullanılarak SYM üretimine geçilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 YM ve SYM [27]

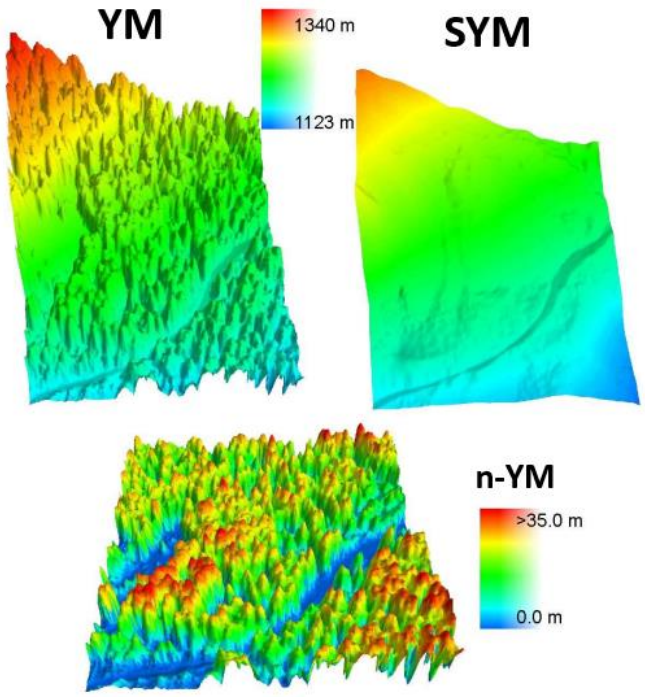
LiDAR nokta bulutundan SYM üretimi için bir ön işlem adımı olan filtreleme işlemi çeşitli parametrelere bağlıdır. Birçok yazılımda bu parametreler kullanılarak filtreleme için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar bütün çalışma alanlarında aynı doğrulukta çalışmaz. Çünkü her alan aynı topoğrafik yapıya sahip değildir [11].

Çıplak arazi yüzeyine ait olmayan insan yapımı nesneler ve bitkilere ait noktaları elemeye çalışırken birçok sorun ortaya çıkar. Çıplak arazi yüzeyi dışında konumlanan noktalar çeşitli filtreleme yöntemleri ile elenebilir. Fakat gerçek arazi yüzeyine ait noktalardan diğer noktaları elemek için özel bir dikkat harcamak gerekir [49].

Bu çalışmada, yükseklik bilgisinden faydalanabilmek için seçilen yöntemlerden birisi de normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (n-YM) kullanmaktır (Şekil 3.6). n-YM üretimi de bir filtreleme işlemi gerektirir. YM, binalar, bitki örtüsü, ağaçlar ve yollar gibi yeryüzüne

ait olmayan nesneler ile araziyi içeren yükseklik modelidir. Diğer yandan SYM sadece 3B çıplak arazi yüzeyini temsil eder. Buna dayanarak; n-YM, (3.3) eşitliğinde görüldüğü şekilde aynı bölgeye ait YM'nden SYM'nin çıkarılmasıyla hesaplanan bir fark modeldir [50].

n-YM = YM – SYM (3.3)



Şekil 3.6 n-YM örneği [51]

Son zamanlarda LiDAR verilerinden üretilen SAM'nin hassasiyeti üzerine birçok makale yayınlanmaktadır. Bu hassasiyet navigasyon doğruluğu, referans verinin kalitesi ve filtrelenen ham LiDAR verisinin doğruluğu gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Filtreleme işleminin gelişmesine yardımcı olmak için bazı durumlarda ek olarak yoğunluk görüntüsünün kullanımı ya da ilk-son yansıma verisinin kombine edilerek kullanımı gerekebilir [13].

Vosselman [14], yer ve yere ait olmayan noktaları ayırmak için iki nokta arasındaki yükseklik farkı değerini kullanarak bir filtreleme algoritması geliştirmiştir. Süleymanoğlu ve Soycan [52], bu algoritma ile gerçekleştirilen filtreleme işleminin yükseklik değişiminin fazla olduğu bölgelerde doğru sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir.

3.2.2 LiDAR Verilerinin Segmentasyonu ve Sınıflandırılması

Gürültülerinden temizlenmiş LiDAR nokta bulutunu nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırmak için veri segmentasyonu gerçekleştirilmelidir. LiDAR verisinin segmentasyonu için literatür incelemelerinde sınır, model, bölge, küme ve grafik temelli gibi birçok yöntemin tek başına ya da birlikte kullanılmasıyla segmentlerin oluşturulduğu görülmüştür. Çoklu çözünürlüklü, satranç tahtası ve kontrast ayırma segmentasyon yöntemleri otomatik obje çıkarımında tercih edilen segmentasyon yöntemleridir. Genellikle nesne tabanlı yöntemlerde objeleri daha iyi temsil etmesi sebebiyle çoklu çözünürlüklü segmentasyon yönteminin tercih edildiği görülmüştür. Nokta bulutundaki bilgilerden faydalanılarak objenin şekil, bütünlük, doku, geometrik, radyometrik vb. özelliklerine göre verinin birbirinden bağımsız segmentlere ayrılması sağlanır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyon yönteminin bir diğer avantajı ise birden fazla verinin bütünleşik olarak kullanıldığı uygulamalarda belirlenen ağırlıklara göre istenilen verinin segmentasyon işlemine dâhil olabilmesine imkân sağlamasıdır.

LiDAR nokta bulutunun sınıflandırılması için nokta ve grid tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Grid tabanlı yöntemlerde 3B nokta bulutunun 2B olarak ifade edildiği raster görüntüler üzerinden işlem yapılır ve özellikle kentsel alanlarda yapılacak sınıflandırmalar için tercih edilir. Bu yaklaşımda işlem hızı daha yüksektir ve sayısal görüntü işleme algoritmaları bu yöntemde kullanılan raster veri üzerine doğrudan uygulanabilir. Bu yaklaşımda bir piksel sadece bir sınıfı ifade eder. Sınıflandırma işlemi için sırasıyla segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri yapılır. Yani grid tabanlı yaklaşımlarda uygulanan sınıflandırma yöntemi nesne tabanlı sınıflandırma yöntemidir. Nokta tabanlı yöntemde ise her bir nokta için bir obje sınıfı belirlenir. Bu yöntemde nokta yüksekliği, nokta komşuluğu gibi geometrik özellikler, dönüş sayısı, yoğunluk gibi dönüş tabanlı yansıma özellikleri ve tam dalga boyu kaydeden LiDAR'larda yer alan özellikler kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilir.

Bu tez çalışmasında da sınıflandırma işlemi grid tabanlı yaklaşım üzerinden nesne tabanlı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple bu bölümde özellikle bu yaklaşımda kullanılan işlemlere yer verilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalarda LiDAR nokta bulutu, ortofoto, yükseklik modelleri ve yoğunluk verilerinden elde edilen

değerler objeleri temsil edecek özellikler olarak değerlendirilerek, gerçekleştirilen parametre analizleri sonucunda segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri ile objelerin çıkarılması sağlanmıştır.

BÖLÜM 4

NESNE TABANLI SEGMENTASYON YÖNTEMİ İLE LiDAR VERİLERİNDEN OBJE ÇIKARIMI

İncelenen araştırmalarda klasik piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin piksel gri değerlerinin sebep olduğu sınıf karışıklıkları yüzünden obje çıkarımında yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu sebeple bu tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulamalarda sınıf karışıklıklarını elimine etmek ve sınıfları iyileştirmek amacıyla LiDAR nokta bulutunun yükseklik bilgisinden faydalanılması hedeflenmiş ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edilerek otomatik obje çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Özellikle binalar ile ağaç ve yerden yüksek bitkiler gibi yeşil nesnelerin birbirinden ayırt edilmesi üzerine yoğunlaşılmıştır. Bina ve ağaç nesnelerinin dışında gölge, zemin, yol, havuz gibi alanların da sınıflandırılmasına çalışılmıştır.

Tez çalışması kapsamında LiDAR ve ortofoto verileri farklı kombinasyonlarda kullanılarak iki farklı yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşımlarda nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile kural bazlı obje çıkarımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. İlk uygulamada sadece LiDAR verisi kullanılarak otomatik obje çıkarımı gerçekleştirilmiş, ikinci yaklaşımda LiDAR ve ortofoto verilerinin bütünleşik olarak kullanıldığı bir diğer uygulama ile otomatik obje çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Her iki uygulama için de LiDAR nokta bulutunun yükseklik bilgisinden faydalanılarak üretilen SYM ve YM ile yine LiDAR nokta bulutunun yoğunluk bilgisinden üretilen yoğunluk görüntüsü yardımcı veri olarak kullanılmıştır.

Öncelikle LiDAR nokta bulutu verileri filtrelenerek sınıfların oluşturulması ve iyileştirilmesi aşamalarında kullanılmak üzere yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Otomatik obje çıkarımında karşılaşılan en büyük sorun sınıf karışıklıklarıdır. Oluşturulan

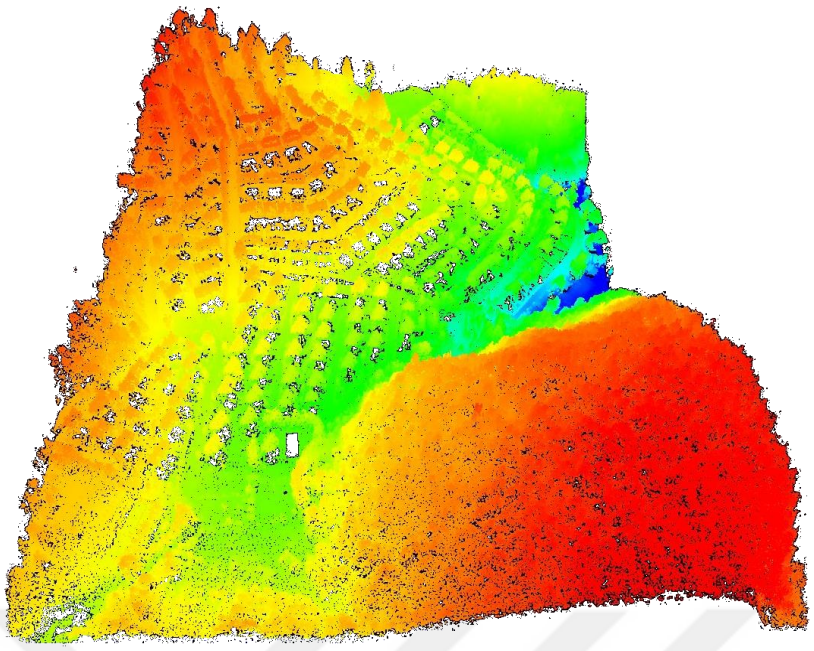
segmentlerin sınıflara atanması işlemlerinde görülen sınıf karışıklıkları, yükseklik modellerindeki ve nokta bulutundaki yükseklik bilgisini, ortofoto görüntü bantlarındaki spektral değerleri, yoğunluk bilgisini ve LiDAR'ın çoklu yansıma özelliğini kullanarak giderilmeye çalışılmıştır. Böylece ortofoto ve nokta bulutunun bütünleşik kullanımının sağladığı avantajlar ortaya konulmuştur. Sınıflandırma için kuralların bir kısmı çalışma alanı farkı gözetmeksizin her alanda uygulanabilecek şekilde hazırlanırken, bir kısmı da bölgeye özel durumların yarattığı sınıf karışıklıklarını gidermek üzere çözüm üretecek şekilde hazırlanmıştır.

Bu bölümde öncelikle uygulamaların gerçekleştirildiği çalışma alanı ile uygulamalarda kullanılan veri seti ve kullanılan yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında kural tabanlı otomatik obje çıkarımı için izlenen yöntem belirtilerek, yaklaşım 1 için sadece LiDAR nokta bulutu kullanılarak gerçekleştirilen uygulama, yaklaşım 2 için ise LiDAR nokta bulutu ile ortofotonun bütünleşik olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilen uygulama anlatılmıştır. Sınıflandırma doğruluklarını karşılaştırmak üzere her iki yaklaşım için gerçekleştirilen doğruluk analizlerine yer verilmiştir.

4.1 Çalışma Alanı, Kullanılan Veri Seti ve Kullanılan Yazılımlar

Bu çalışmada kullanılan veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesinin 'Hava LiDAR Teknolojisiyle Sayısal Yüzey Modeli ve 3 Boyutlu Kent Modeli Projesi' kapsamında üretilen verilerden seçilmiştir. Çalışma alanı, 2013 yılı Eylül ayında uçuşu gerçekleştirilen LiDAR nokta bulutu (Şekil 4.1) ile yine aynı yılın Kasım ayında çekilen görüntülerden üretilen ortofotolardan seçilmiş olan İstanbul Zekeriyaköy'e ait F22D01C3C (Şekil 4.2) paftasının tamamını kapsayacak şekilde belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan LiDAR nokta bulutu verisi Riegl LSM-Q680i tam dalga boyu kayıt yapan lazer tarayıcı (Şekil 4.3) ile elde edilmiş olup, nokta yoğunluğu 16 nokta/m^2'dir. Lazer tarayıcıya ait teknik özellikler Çizelge 4.1'de yer almaktadır. Kullanılan 1/1000 ölçekli ortofoto kırmızı, yeşil, mavi olmak üzere üç bantlı sayısal görüntüden üretilmiş olup, 10 cm yer örnekleme aralığına sahiptir.



Şekil 4.1 Çalışma alanı LiDAR nokta bulutu



Şekil 4.2 Çalışma alanına ait ortofoto görüntü



Şekil 4.3 Riegl LSM-Q680i lazer tarayıcı [53]

Çizelge 4.1 Riegl LSM-Q680i teknik özellikleri [53]

Eğik (Range) Mesafe Ölçüm Performansı	
Minimum mesafe	30 m
Doğruluk (Accuracy)	20 mm
Hassasiyet (Precision)	20 mm
Lazer sinyali tekrarlama oranı (laser pulse repetition rate)	400 000 Hz (e varan)
Etkin ölçüm oranı	266 Hz (e varan) (60° tarama açısında)
Paralel tarama çizgileri (parallel scan lines)	8956 x 6708 piksel
Lazer dalgaboyu	Yakın kızılötesi
Lazer ışını ıraksaması (Laser beam divergence)	≤ 0.5 mrad
Sinyal başına hedef sayısı	Sayısallaştırılmış dalga işleme: Sınırsız Veri çıkışı gözleme: İlk dönen
Tarayıcı (Scanner) Performansı	
Tarama mekanizması	Döner ayna (Rotating poligon mirror)
Tarama deseni (Scanning pattern)	Paralel tarama çizgileri
Tarama açısı aralığı	+/-30° = toplam 60°
Tarama hızı	10 - 200 çizgi/sn
Açı ölçüm çözünürlüğü	0.001°
Yoğunluk (Intensity) Ölçümü	Her dönüş sinyali için 16 bit (yüksek çözünürlüklü) yoğunluk verisi
Genel Teknik Özellikleri	
Ağırlık	17.5 kg
Maksimum uçuş yükseliği	5000 m

Nokta bulutundan üretilen SYM, YM, yoğunluk görüntüsü yardımcı veriler olarak kullanılmış olup, bunların yanı sıra ana ve yardımcı verilerin özelliklerinden faydalanılarak yapılan aritmetik hesaplamalarla oluşturulan görüntü bilgileri sınıflandırma aşamasında sınıfların iyileştirilmesi ve segmentlerin sınıflara atanması için eşik değer olarak kural seti içerisinde değerlendirilmiştir.

Çalışmayı gerçekleştirmek için iki yazılımdan faydalanılmıştır. Nokta bulutundaki gürültülerin filtrelenmesi ve YM ile SYM'nin üretimi için Global Mapper 9.1 yazılımı kullanılmış olup, segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarında e-Cognition Developer 9.0 yazılımı ile kural seti geliştirilmiştir.

4.2 Kural Setleri ile Obje Çıkarımı

Obje çıkarımında en sık karşılaşılan sorunlardan biri sınıfların birbiriyle karışmasıdır. Bu tez çalışmasında sınıf karışıklığı sorununun çözümü için LiDAR nokta bulutunun yanı sıra ortofoto, YM, SYM, yoğunluk görüntüsü olmak üzere çeşitli veri setleri bir arada kullanılarak sınıf karışıklığı sorunlarına çözüm aranmaya çalışılarak, doğruluğu daha yüksek sınıflar ve objelerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

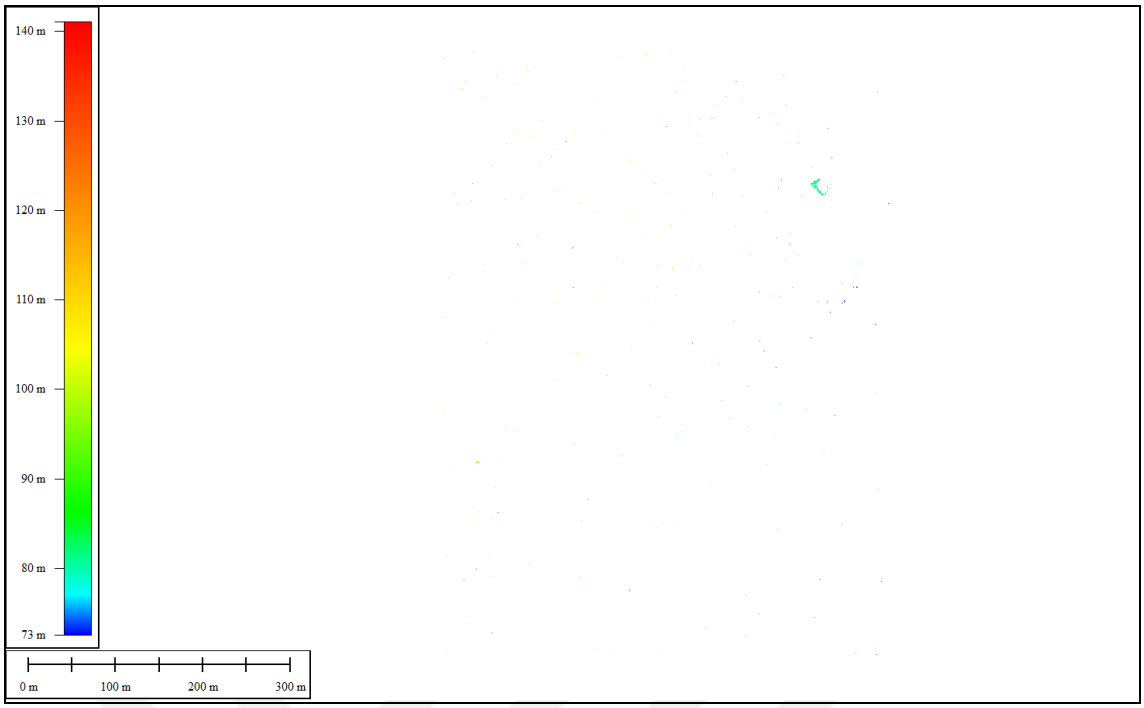
Bu çalışmada obje çıkarımı için nesne tabanlı segmentasyon yöntemi kullanılmış olup, kural setlerine dayalı bir yaklaşım izlenmiştir. Gerçekleştirilen her iki uygulamada da filtreleme işleminden sonra oluşturulan kural setleri ile önce segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiş, , segmentasyon işlemi sonrasında oluşan segmentler kullanılarak yine kural setleri ile belirlenen sınıflandırma işlemleri ile hiyerarşik yapıda oluşturulan sınıflara atama yapılmıştır. Sınıflandırılmış segmentler birleştirilerek farklı sınıflara ait objeler elde edilmiştir.

Objeleri elde etmek için yukarıda belirtilen yöntem, hem sadece LiDAR verilerinin kullanıldığı hem de LiDAR nokta bulutu ile ortofotonun bütünleşik kullanıldığı iki yaklaşımda da uygulanmıştır. Her iki yaklaşım için de nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmış olup, doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 LiDAR Nokta Bulutunun Filtrelenmesi

Filtreleme işlemi ile verideki gürültü olarak adlandırılan istenmeyen noktaların ortadan kaldırılması ve yer ile yere ait olmayan nesnelerin ayrılması sağlanmaktadır [4].

Çalışmanın başlangıcında veri içerisinde negatif değer taşıyan, yükseklik olarak alan bütünlüğüne aykırı olduğu tespit edilen hatalı noktalar Global Mapper yazılımında gürültü olarak belirlenmiş ve bu noktalar silinmiştir (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).

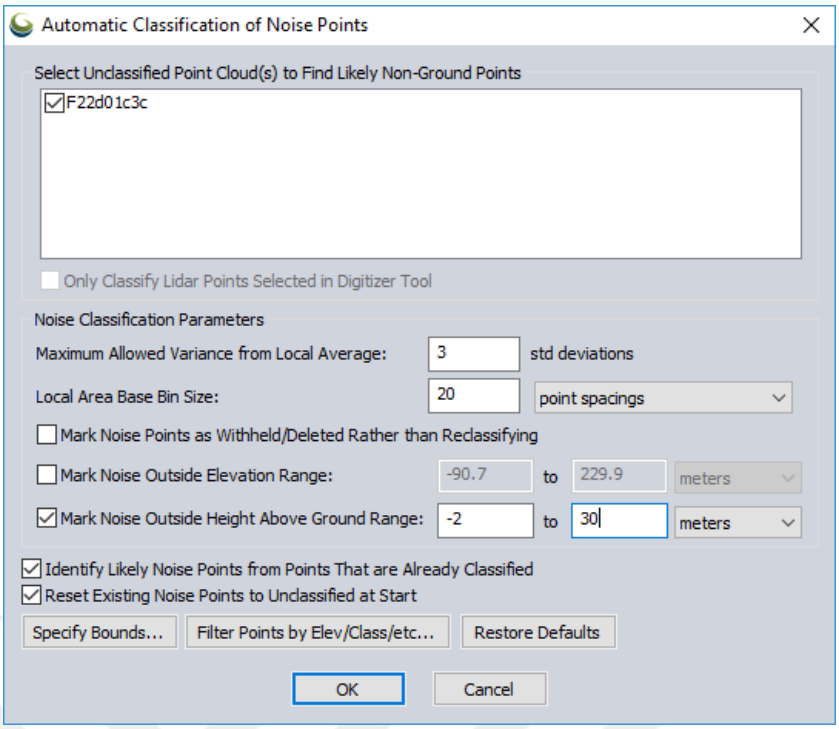


Şekil 4.4 Çalışma alanında temizlenen gürültü noktaları

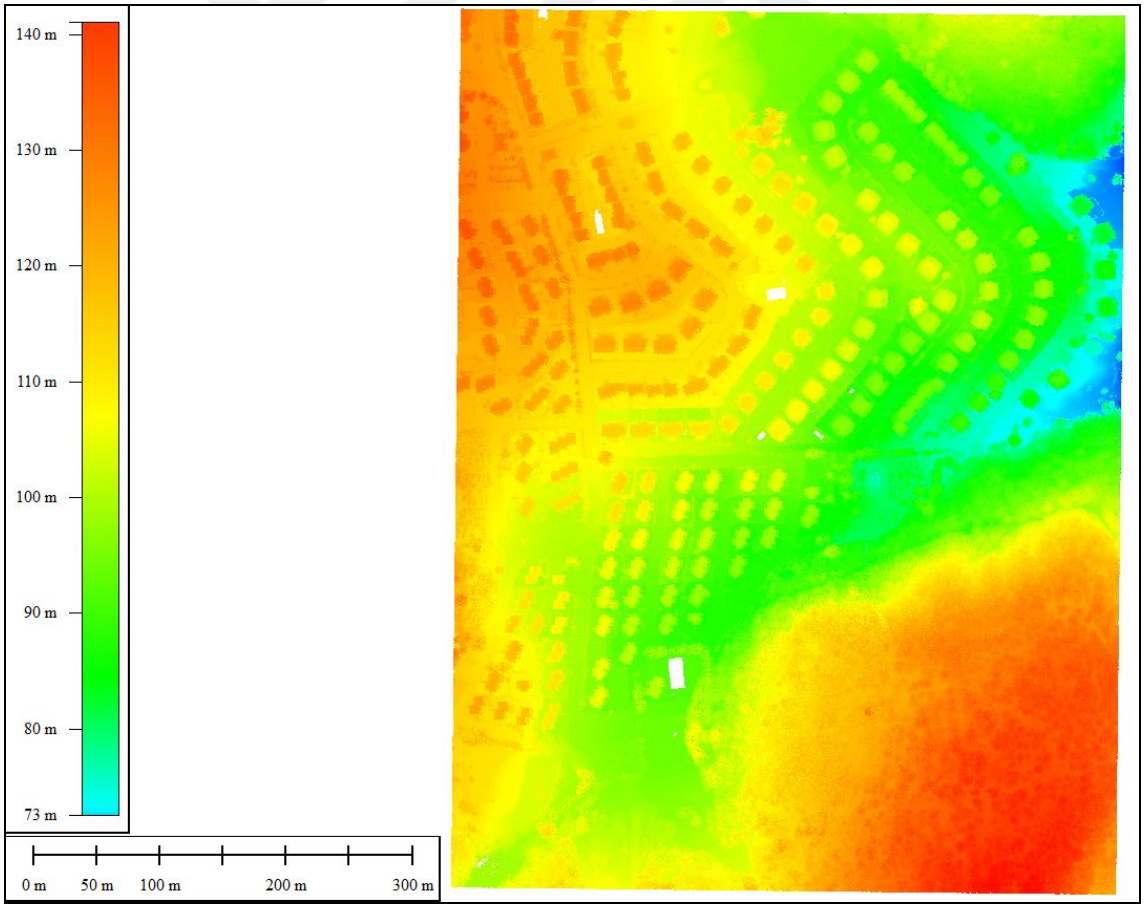
FID	Shape	MAP_NAME	ELEVATION	POINT_SYMB
34757	Point	F22.shp	229,9	Dot
63110	Point	F22.shp	221,94	Dot
11255	Point	F22.shp	219,74	Dot
62051	Point	F22.shp	214,15	Dot
19087	Point	F22.shp	202,27	Dot
20726	Point	F22.shp	186,41	Dot
10706	Point	F22.shp	186,22	Dot
79359	Point	F22.shp	185,62	Dot
63760	Point	F22.shp	184,57	Dot
11848	Point	F22.shp	175,23	Dot
77453	Point	F22.shp	173,97	Dot
37525	Point	F22.shp	170,48	Dot
37480	Point	F22.shp	170,44	Dot
11717	Point	F22.shp	169,83	Dot
12038	Point	F22.shp	167,72	Dot
64163	Point	F22.shp	165,59	Dot
12749	Point	F22.shp	165,23	Dot
31702	Point	F22.shp	164,36	Dot
89887	Point	F22.shp	163,81	Dot
30534	Point	F22.shp	162,03	Dot
44767	Point	F22.shp	161,09	Dot
23271	Point	F22.shp	160,05	Dot
11660	Point	F22.shp	157,97	Dot
25969	Point	F22.shp	155,96	Dot
59080	Point	F22.shp	152,29	Dot
34674	Point	F22.shp	151,66	Dot
36250	Point	F22.shp	151,57	Dot

FID	Shape	MAP_NAME	ELEVATION	POINT_SYMB
57708	Point	F22.shp	-90,62	Dot
30688	Point	F22.shp	-73,14	Dot
77992	Point	F22.shp	-34,66	Dot
68206	Point	F22.shp	-24,9	Dot
95216	Point	F22.shp	21,18	Dot
41056	Point	F22.shp	65,17	Dot
11937	Point	F22.shp	65,91	Dot
11555	Point	F22.shp	66,6	Dot
84812	Point	F22.shp	66,76	Dot
41320	Point	F22.shp	67,58	Dot
41306	Point	F22.shp	67,63	Dot
85088	Point	F22.shp	67,63	Dot
41313	Point	F22.shp	67,66	Dot
85088	Point	F22.shp	67,66	Dot
41313	Point	F22.shp	67,67	Dot
85102	Point	F22.shp	67,74	Dot
85074	Point	F22.shp	67,76	Dot
85074	Point	F22.shp	67,82	Dot
41313	Point	F22.shp	67,84	Dot
85074	Point	F22.shp	67,85	Dot
41444	Point	F22.shp	67,91	Dot
84870	Point	F22.shp	67,92	Dot
84870	Point	F22.shp	67,97	Dot
84739	Point	F22.shp	67,98	Dot
41426	Point	F22.shp	68,01	Dot
85016	Point	F22.shp	68,06	Dot
84885	Point	F22.shp	68,07	Dot

Şekil 4.5 Maksimum ve minimum gürültü noktalarının tespiti

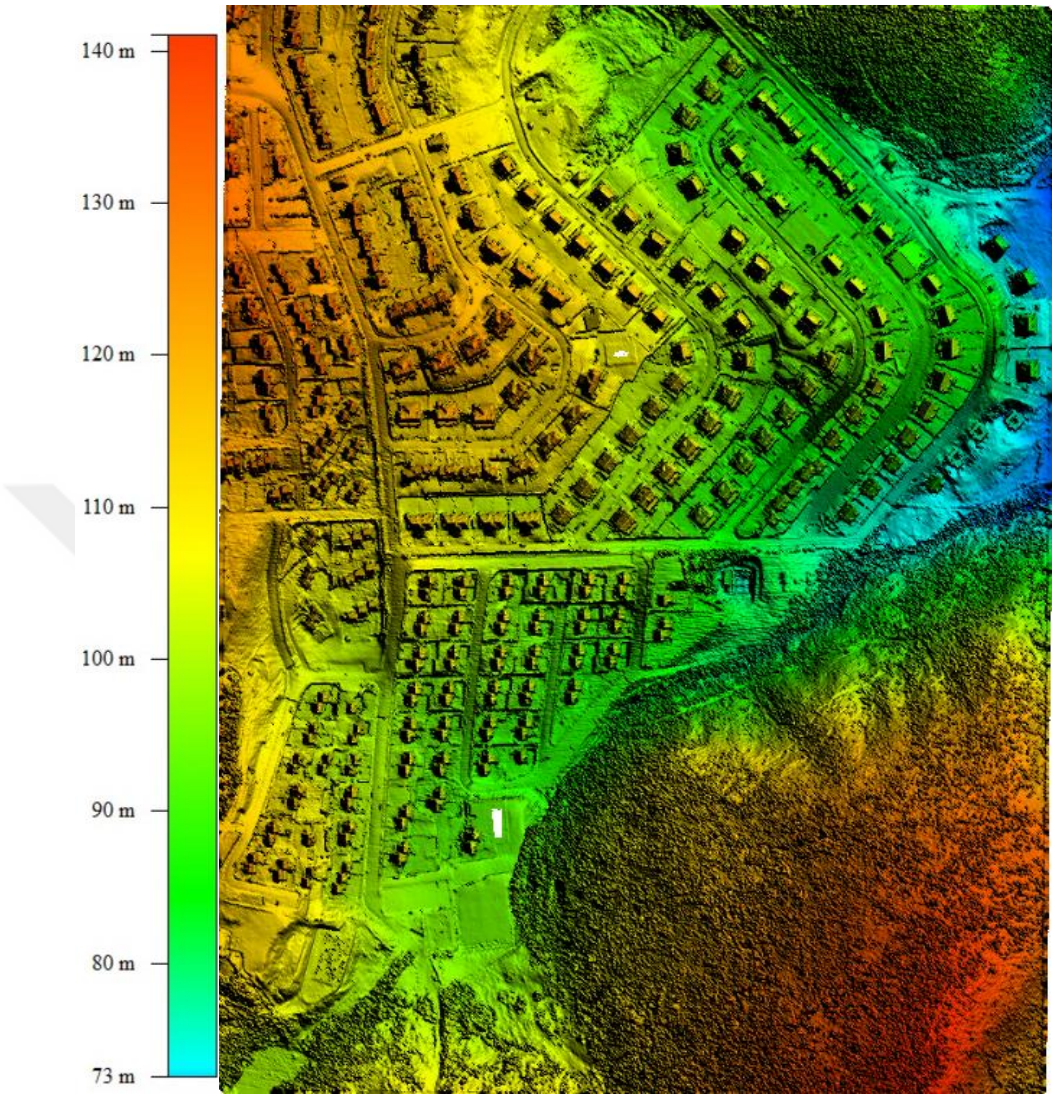


Şekil 4.6 Gürültü noktalarını silme işlemi

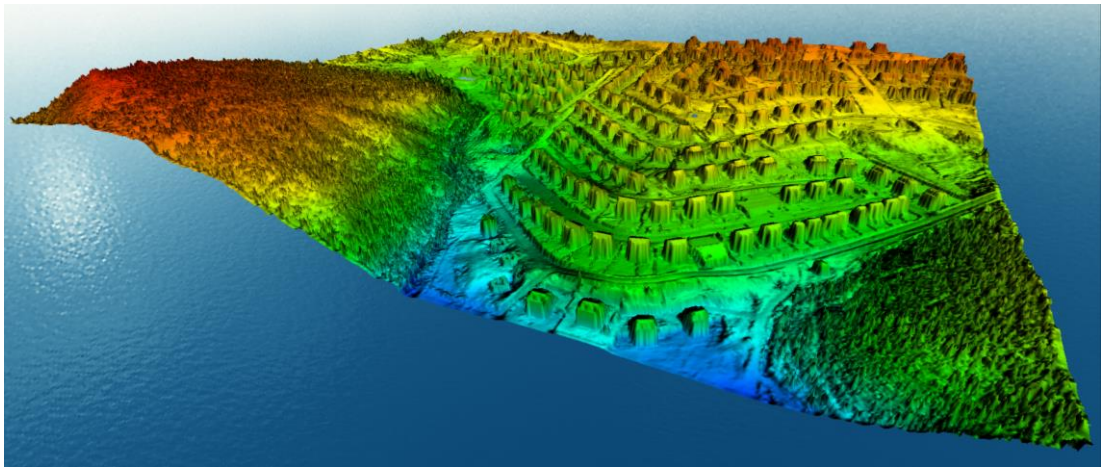


Şekil 4.7 Çalışma alanına ait gürültüleri temizlenmiş nokta bulutu

Gürültüler temizlendikten sonra elde edilen nokta bulutundan YM oluşturulmuştur. (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9)

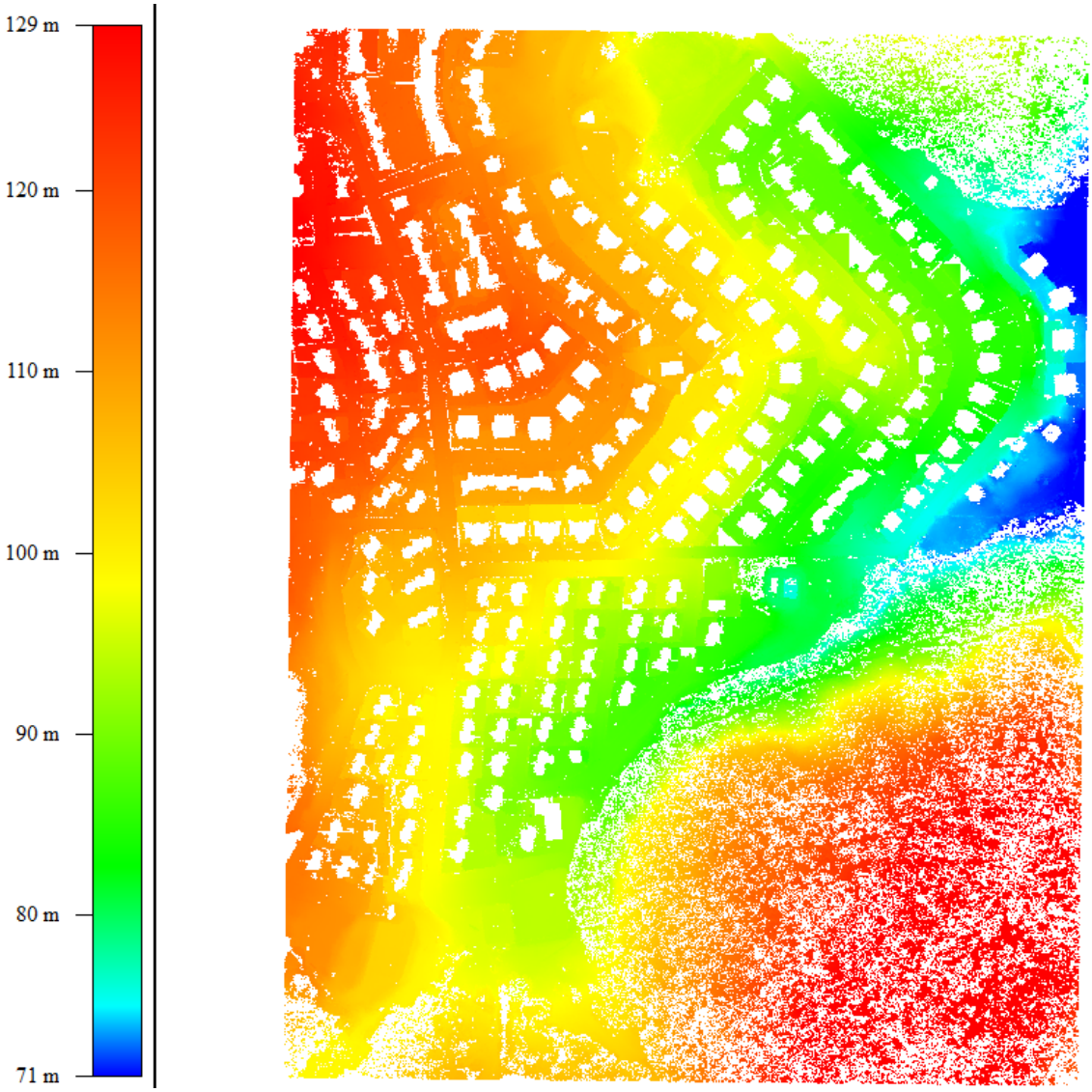


Şekil 4.8 Çalışma alanına ait YM

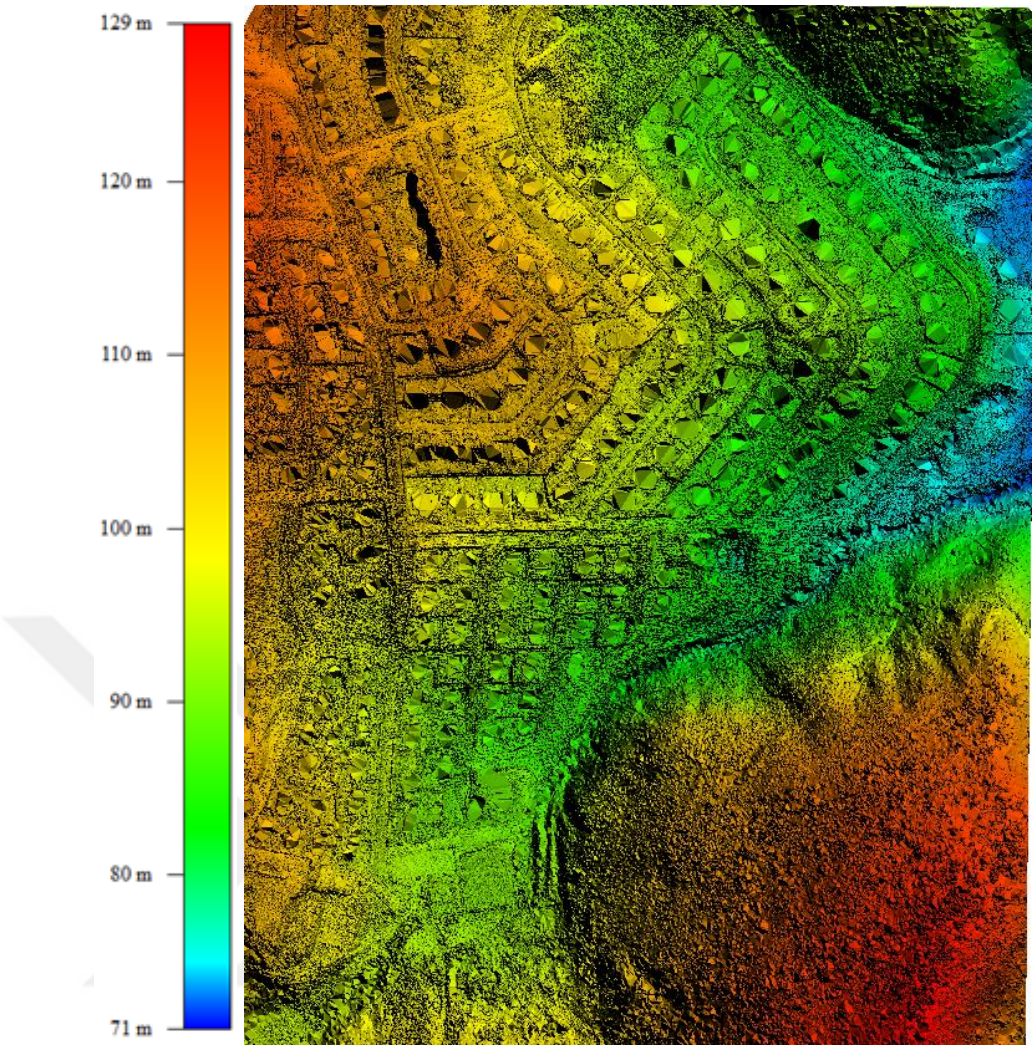


Şekil 4.9 Çalışma alanına ait YM'nin perspektif görünüşü

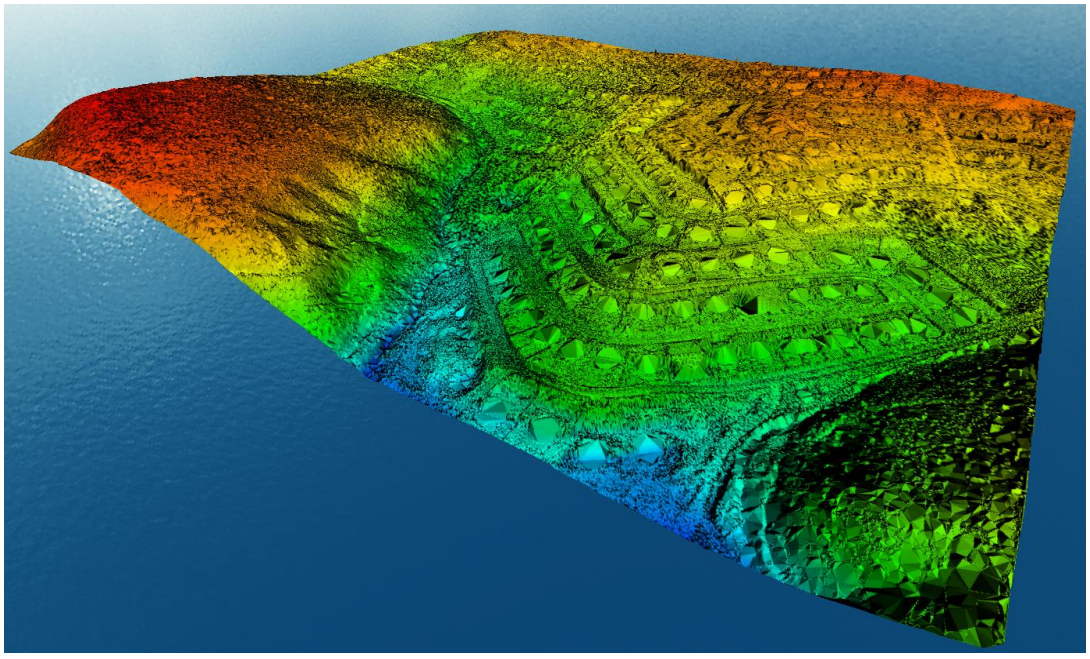
Elde edilen temizlenmiş nokta bulutundaki yükseklik değerleri baz alınarak yazılım yetenekleri yardımıyla bir filtreleme işlemi daha uygulanmıştır. Bunun sonucunda yere ait olmayan (nonground) noktalar ve yer (ground) (Şekil 4.10) noktaları birbirinden ayırılarak, yer noktalarından SYM oluşturulmuştur (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



Şekil 4.10 Çalışma alanı yer yüzeyine (zemin) ait noktalar

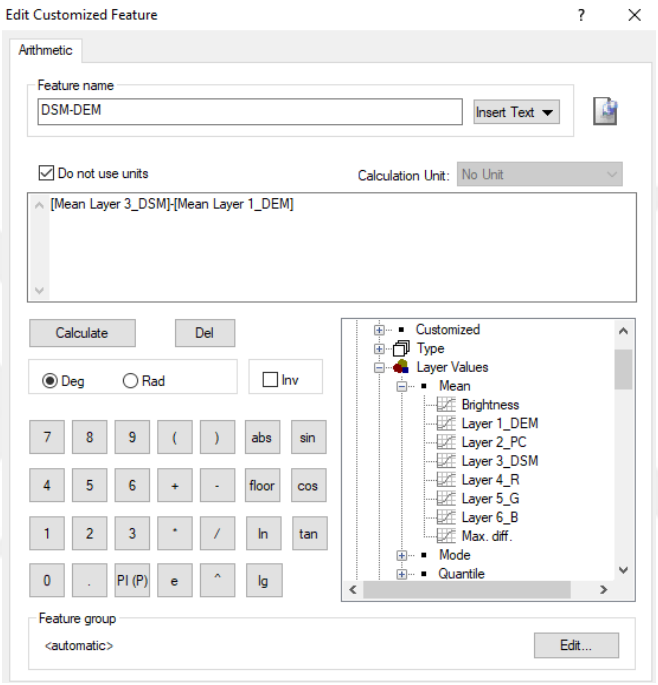


Şekil 4.11 Çalışma alanı SYM görüntüsü

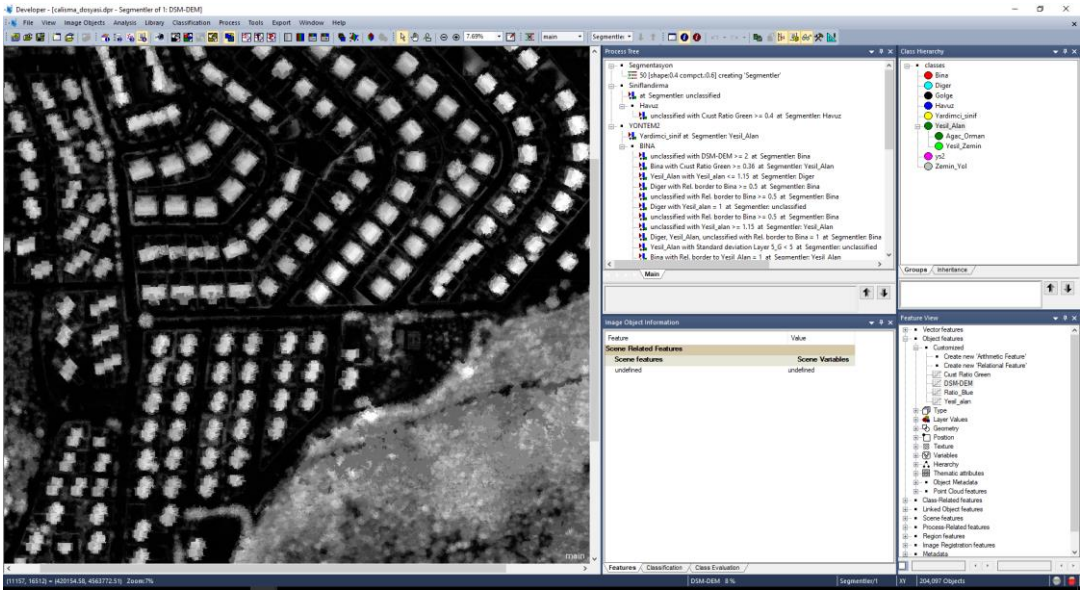


Şekil 4.12 Çalışma alanına ait SYM'nin perspektif görünüşü

Bu çalışmada nesne tabanlı otomatik obje çıkarımı ele alındığından özellikle binaların ve ağaçların çıkarımı için n-YM'in katkısından faydalanılmıştır. LiDAR nokta bulutundan Global Mapper yazılımında üretilen yükseklik verileri olan SYM ve YM'den e-Cognition yazılımının aritmetik hesap kabiliyeti ile n-YM üretilmiştir (Şekil 4.13). Şekil 4.14'te beyaz ve gri olarak görülen alanlar yerden yüksek objeleri ifade etmektedir. Beyaz renge yaklaşan piksellerin yükseklik değerleri daha fazla olup, siyah alanlar araziyi göstermektedir.



Şekil 4.13 n-YM hesaplama ekranı

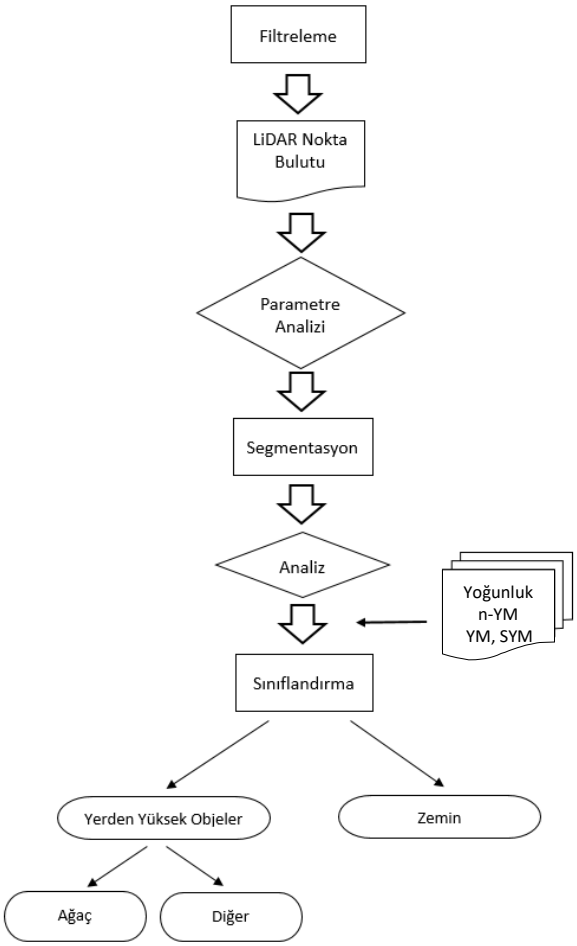


Şekil 4.14 Çalışma alanı için üretilen n-YM

4.2.2 Yaklaşım 1: LiDAR Nokta Bulutu Verisinden Obje Çıkarımı

Bu yaklaşımda ana veri olarak sadece LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Filtreleme işlemi ile gürültülerden temizlenmiş LiDAR nokta bulutunun yanı sıra yine filtreleme işlemleri ile yükseklik verisinden üretilen SYM ve YM, n-YM yardımcı veri olarak kullanılmış, sınıfları iyileştirmek için LiDAR yoğunluk bilgisinden faydalanılmıştır.

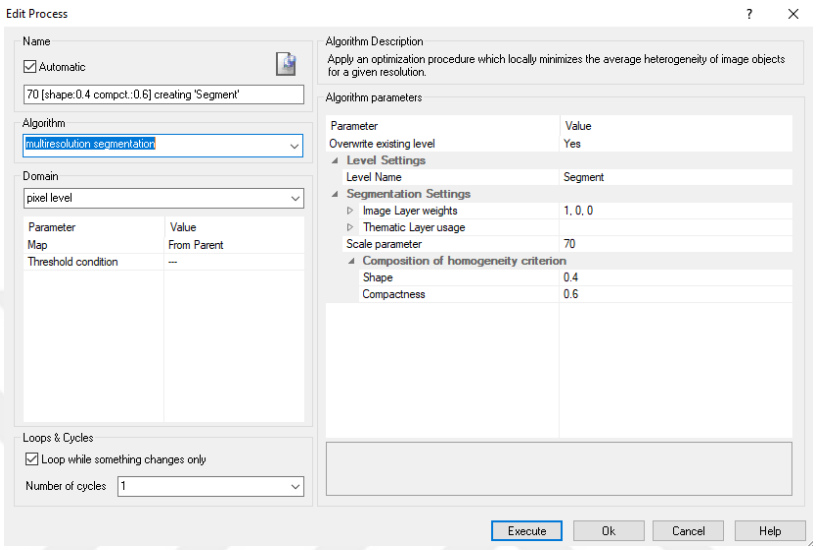
Nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile LiDAR nokta bulutu görüntüsü segmentlere ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemi aşamasında yerden yüksek objeler ve zemin olmak üzere iki sınıf oluşturulmuş, hiyerarşik yapıda yerden yüksek objeler sınıfı ağaç ve diğer olarak alt sınıflara ayrılmıştır. Sınıflandırma sonrasında sınıf bazında segmentler birleştirilerek alan veri tipinde objelerin çıkarımı sağlanmış ve doğruluk analizinde kullanmak üzere shp formatında kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlemler Şekil 4.15'te yer alan şemada gösterilmektedir.



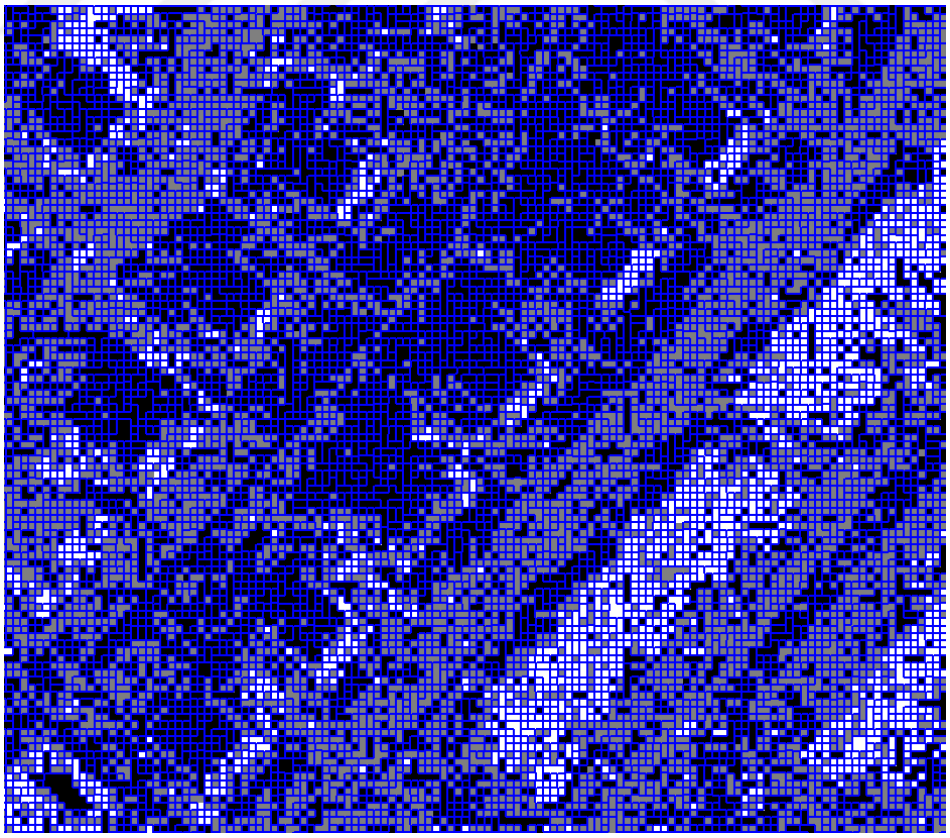
Şekil 4.15 Yaklaşım 1 için obje çıkarımı işlem şeması

4.2.2.1 Segmentasyon İşlemi

Bu yaklaşımda da yine çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi tercih edilmiştir. Segmentasyon işlemi için parametre analizi gerçekleştirilmiş olup, ölçek parametresi için 70, şekil parametresi için 0.4 ve bütünlük parametresi için 0.6 değerleri uygun bulunarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).



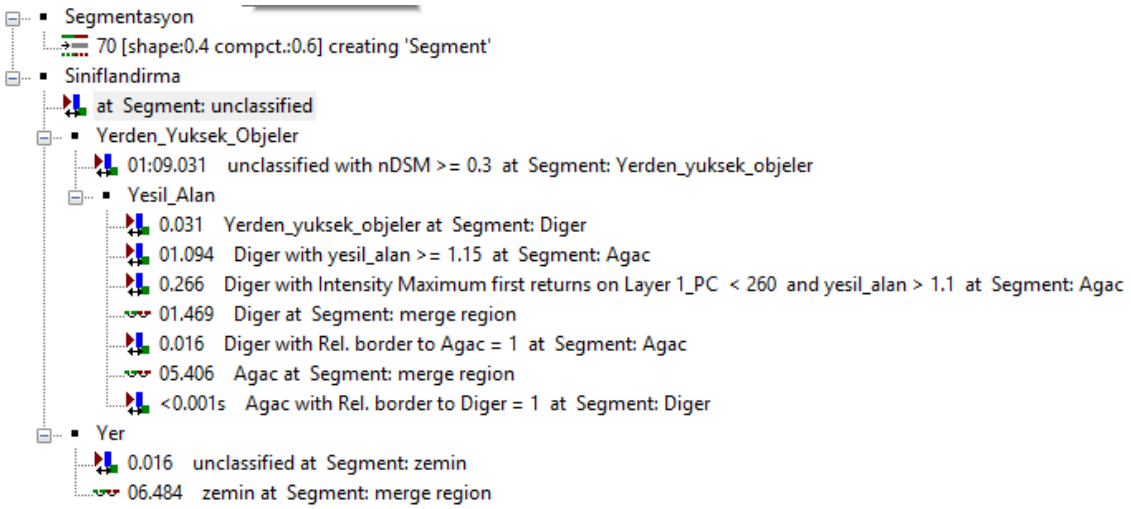
Şekil 4.16 Yaklaşım 1 için segmentasyon parametre değerleri



Şekil 4.17 Yaklaşım 1 için oluşturulan segmentler

4.2.2.2 Sınıflandırma İşlemi

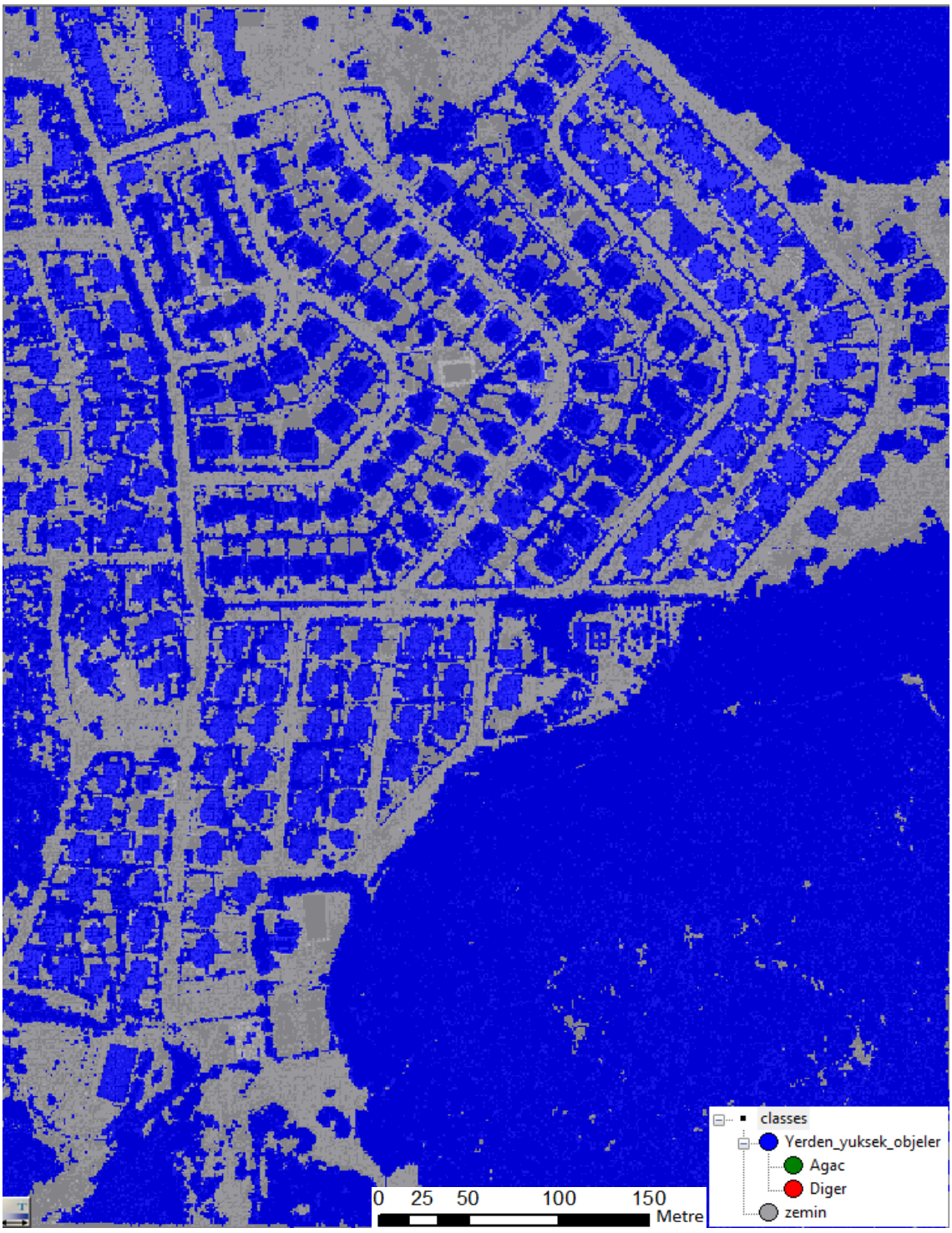
Bu uygulamada da nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi tercih edilmiş, sınıflandırma işlemini gerçekleştirecek kurallar yazılmıştır (Şekil 4.18). Segmentasyon işlemi sırasında oluşan segmentlerin, LiDAR ve yardımcı verilerden elde edilen bilgilerin eşik değer olarak kullanılmasıyla belirlenen sınıflara atanması sağlanmış, sınıf karışıklıklarının giderilmesi ve sınıfların iyileştirilmesi için yine bu verilerden faydalanılmıştır. Sınıfların oluşturulması ve segmentlerin doğru sınıfa atanabilmesi için yazılacak kurallarda kullanılacak veri ve eşik değerler için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.18 Yaklaşım 1 için oluşturulan kural seti

Segmentasyon sonrasında oluşan segmentleri sınıflandırmaya ilk olarak yerden yüksek objelere ait segmentler ile yere ait segmentlerin ayrılması ile başlanmıştır. Yere ait olmayan objeleri ayırmak için n-YM görüntüsünden faydalanılmıştır. n-YM için belirlenen ≥0.3 eşik değerine uygun olan segmentler yerden yüksek objeler sınıfına, kalan segmentlerin tamamı zemin sınıfına atanmıştır (Şekil 4.19).

Çalışma alanına ait ortofoto görüntüsünde bina, ağaç, çit ve bordür bitkileri, duvar, sokak lambası, yoldaki araçlar, çocuk parkındaki oyuncaklar gibi yere ait olmayan çeşitli objeler görülmektedir. Bu yaklaşımdaki uygulamada yerden yüksek objeler sınıfına girecek objeler ağaç ve diğerleri olarak hiyerarşik sınıflandırma yapısında ikiye ayrılmıştır.



Şekil 4.19 Çalışma alanına ait yerden yüksek objeler

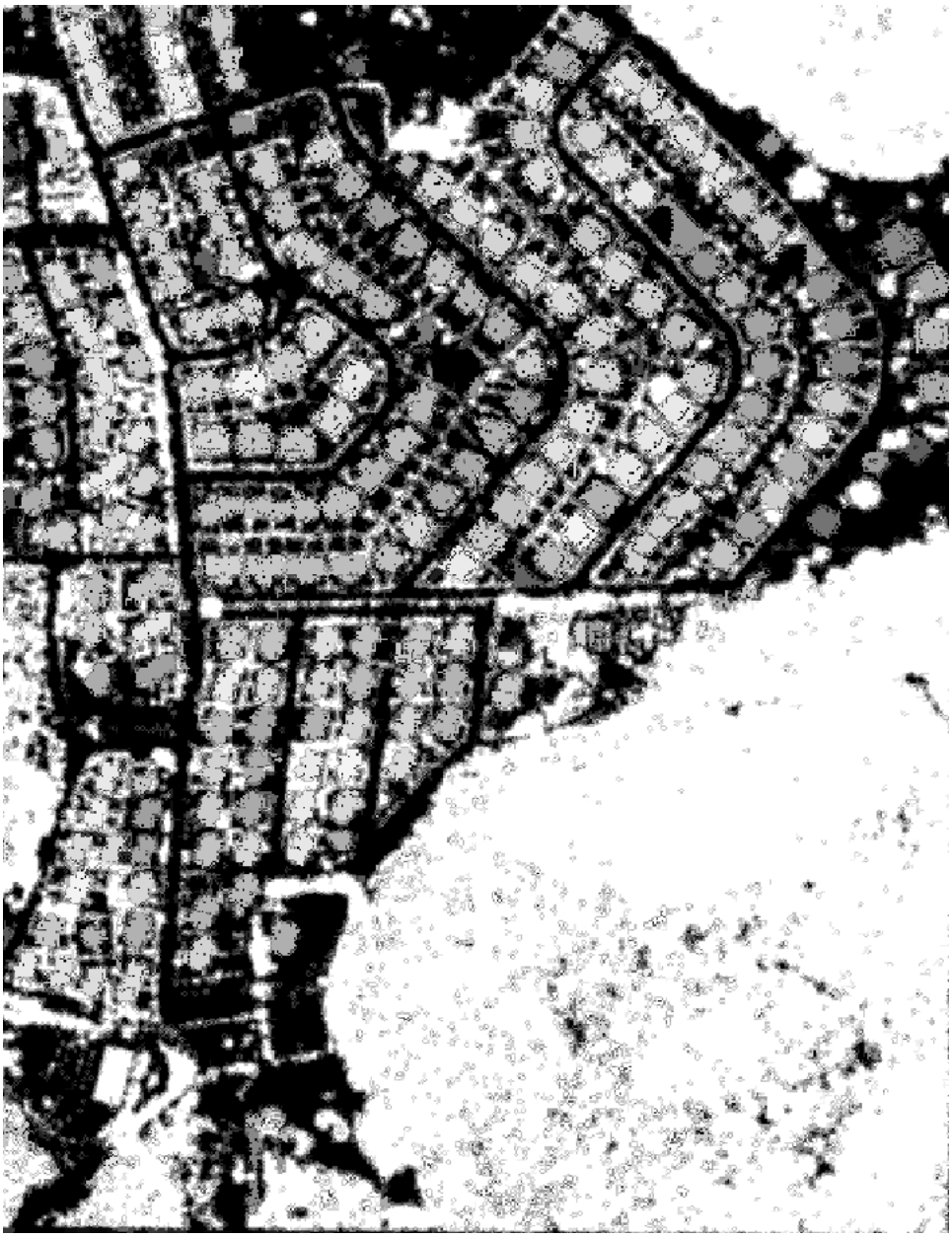
Yerden yüksek objeler sınıfına atanmış olan segmentler ağaç ve diğer olmak üzere ikiye ayrılacağı için öncelikle yerden yüksek objeler sınıfındaki bütün segmentler diğer sınıfına aktarılmış ve ağaç sınıfını oluşturacak kurallar diğer sınıfı üzerinden analiz edilmiştir. İlk olarak kullanılan yazılımın aritmetik hesap kabiliyeti ile çoklu yansıma özelliği kullanılarak üretilen görüntüler üzerinden yapılan hesaba göre belirlenen eşik

değer kullanılarak diğer sınıfından ağaç sınıfına atanacak olan segmentler belirlenmiştir. LiDAR nokta bulutu verisinin ilk ve son yansıma özelliklerini baz alan iki yardımcı görüntü üretilmiştir. Aritmetik hesap ekranında tüm yansıma görüntüsü son yansıma görüntüsüne oranlanarak ağaç sınıfına atanacak segmentler için ≥1.15 eşik değeri belirlenmiştir. Aritmetik hesaptaki oran yeşil alan olarak adlandırılmıştır. Sonrasında ağaç objelerine ait segmentlerden diğer sınıfı içerisinde kalanları ayırabilmek için yoğunluk verisinden faydalanılmış olup, yoğunluk görüntüsü üretebilmek için nokta bulutu çoklu yansıma özelliğinin ilk yansıma değerleri maksimum algoritması ile kullanılmıştır. Üretilen yoğunluk görüntüsü için <260 eşik değeri belirlenmiş, bu aşamada yazılan kurala yeşil alan hesabı için >1.1 eşik değeri de ikinci bir koşul olarak eklemiştir. Bunun sebebi yeşil alan oranlama değerinin ağaç sınıfına ait alanlar dışında küçük bir aralıkta bina çatılarındaki segmentler ile karışıklık gösteriyor olmasıdır. Bu işlemler ile yerden yüksek objelerin diğer ve ağaç olarak sınıflandırılması için ilk aşama gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Yerden yüksek objelerin diğer ve ağaç sınıfına atanması

Bu aşamadan itibaren diğer ve ağaç sınıflarının iyileştirilmesi için sınır ilişkisi fonksiyonu kullanılmıştır. Sınır ilişkisini belirlemek için en uygun yöntem segmentleri birleştirerek objeleri oluşturmaktır. Bu işlem için yazılımın birleştirme fonksiyonundan yararlanılarak diğer sınıfında kalan segmentler birleştirilmiş ve ağaç sınıfı için sınır ilişkisi kurulmuştur (Şekil 4.21). Bu ilişki ile üretilen görüntü içinde ağaç sınıfı ile sınır ilişkisi büyüdükçe renk griden beyaza yaklaşmakta, çevresinin tamamı ağaç sınıfındaki sınırlara dokunan segmentler beyaz renkte görünmektedir. Ağaç sınıfı sınır ilişkisi eşik değeri =1 olan diğer sınıfındaki segmentler ağaç sınıfına atanmıştır.

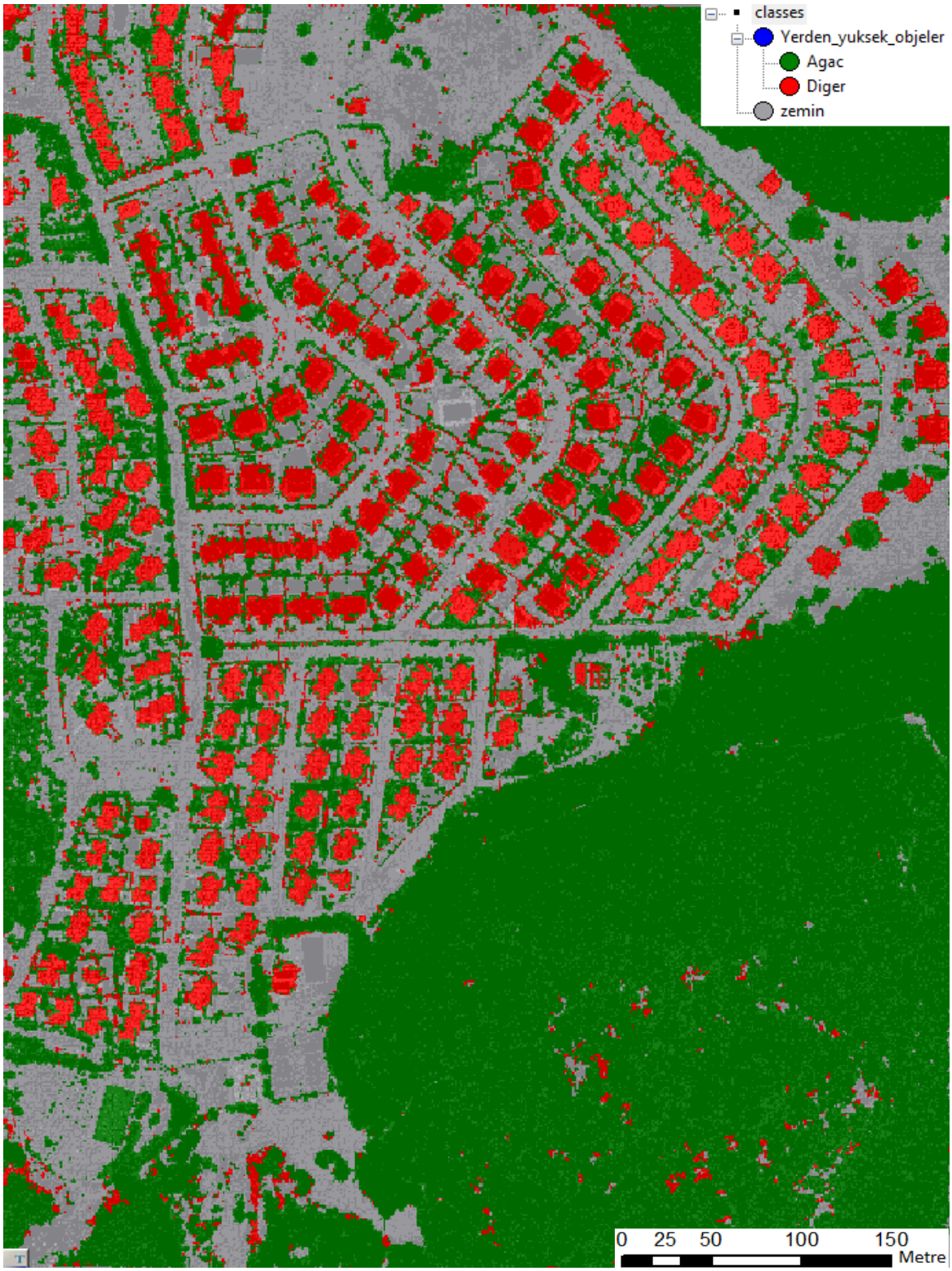


Şekil 4.21 Çalışma alanı ağaç sınıfı sınır ilişkisi

Sonrasında ağaç sınıfında kalan segmentler birleştirilmiş ve aynı işlemler diğer sınıfı ile sınır ilişkisi kurularak (Şekil 4.22) ağaç sınıfında yer alıp diğer sınıfına aktarılması gereken segmentler belirlenmiştir. Bu şekilde diğer ve ağaç sınıfları bir kat daha iyileştirilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.22 Çalışma alanı diğer sınıfı sınır ilişkisi



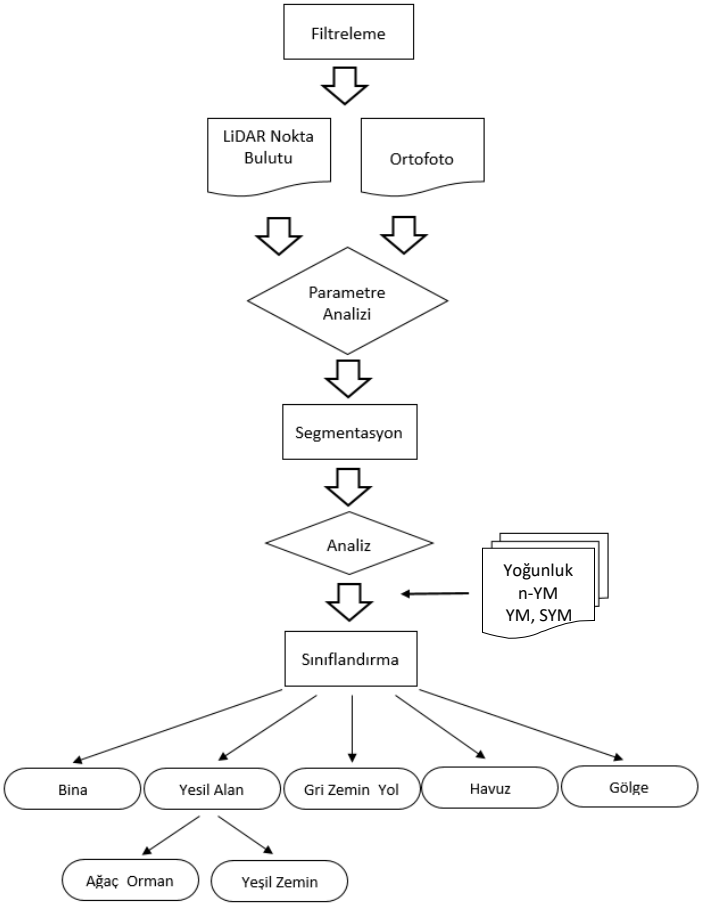
Şekil 4.23 Çalışma alanı iyileştirilen sınıflandırma sonucu

Zemin sınıfına aktarılan segmentler de birleştirilerek istenilen sınıflara ait objelerin alan veri tipinde ve shp formatında kaydedilmesi sağlanmıştır.

4.2.3 Yaklaşım 2: LiDAR Nokta Bulutu ve Ortofoto Verilerinin Bütünleşik Kullanımı ile Obje Çıkarımı

Bu yaklaşımda LiDAR nokta bulutu ve ortofoto birlikte kullanılarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Filtreleme işlemi ile gürültülerden temizlenmiş LiDAR nokta bulutu ve ortofotonun yanı sıra yine filtreleme işlemleri ile yükseklik verisinden üretilen SYM ve YM yardımcı veri olarak kullanılmış, sınıfları iyileştirmek için LiDAR yoğunluk bilgisinden faydalanılmıştır.

Nesne tabanlı segmentasyon yöntemi ile ortofoto segmentlere ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemi aşamasında bina, yeşil alan, zemin, yol, gölge sınıfları oluşturulmuş, hiyerarşik yapıda bu sınıflardan bazılarına alt sınıflar oluşturulmuştur. Sınıflandırma sonrasında sınıf bazında segmentler birleştirilerek alan veri tipinde objelerin çıkarımı sağlanmış ve doğruluk analizinde kullanmak üzere shp formatında kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlemler Şekil 4.24'te yer alan şemada gösterilmektedir.

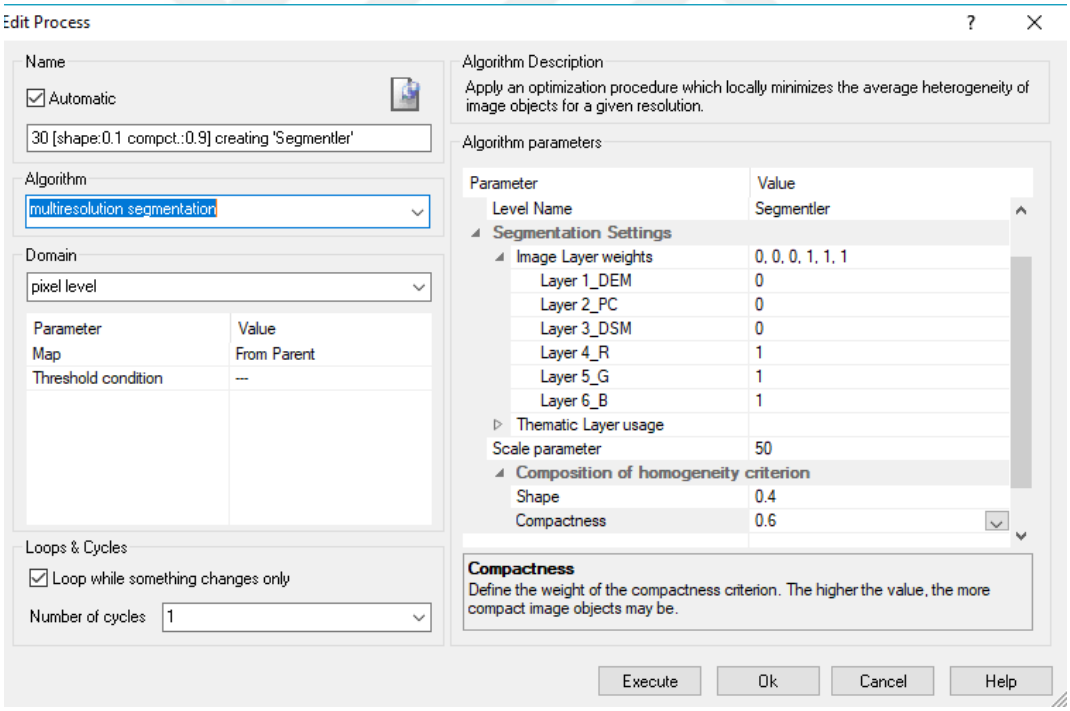


Şekil 4.24 LiDAR nokta bulutu ve ortofoto verileri ile obje çıkarımı işlem şeması

4.2.3.1 Segmentasyon İşlemi

Çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanılarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi bu yöntemde segmentlerin birden fazla kriterin baz alınarak oluşturulmasıdır. Bu kriterler ölçek, şekil ve bütünlük parametreleridir. Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirildiği uygulama, yöntemin kullanılması aşamasında çalışma kapsamında işleme giren verilerin segmentasyon işlemine olan etkisini ayarlayabilme imkânı da sağlamaktadır.

Segmentasyon aşamasında çalışma kapsamında kullanılan veri seti içerisinde yer alan LiDAR, YM ve SYM segmentasyon işlemine dâhil edilmeden, sadece ortofoto verisi kullanılarak segmentler oluşturulmuştur. Bunun için yazılan kuralda Şekil 4.25'te görüldüğü üzere görüntü katmanlarından LiDAR, YM ve SYM'nin ağırlıkları 0 olarak yazılmış, ortofoto görüntü bantlarının ağırlıkları ise 1 yazılarak segmentasyon ortofoto üzerinden gerçekleştirilmiştir.



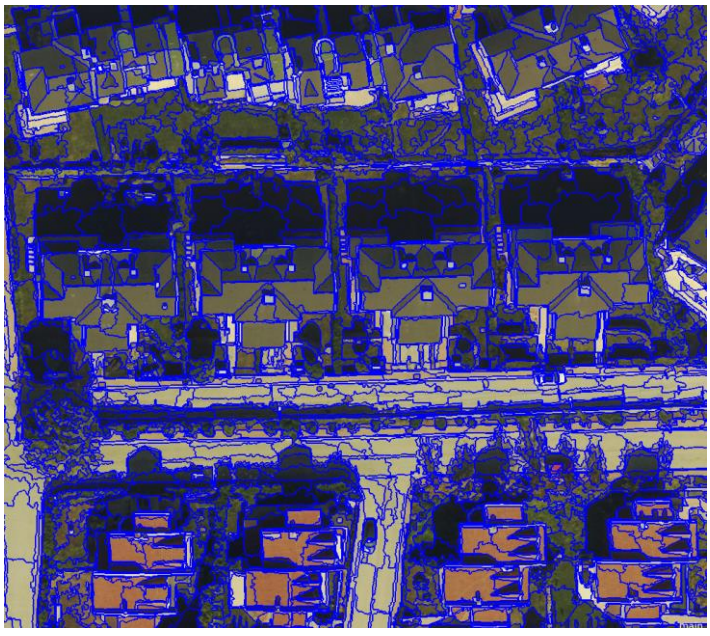
Şekil 4.25 Seçilen segmentasyon parametreleri ve segmentasyon kuralı

Segmentasyon işlemi için parametre analizi yapılmıştır. Parametreler için kullanılan analiz değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmekte olup, her bir analiz işlemi sonrasında oluşan segmentler Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'deki görüntülerde yer almaktadır.

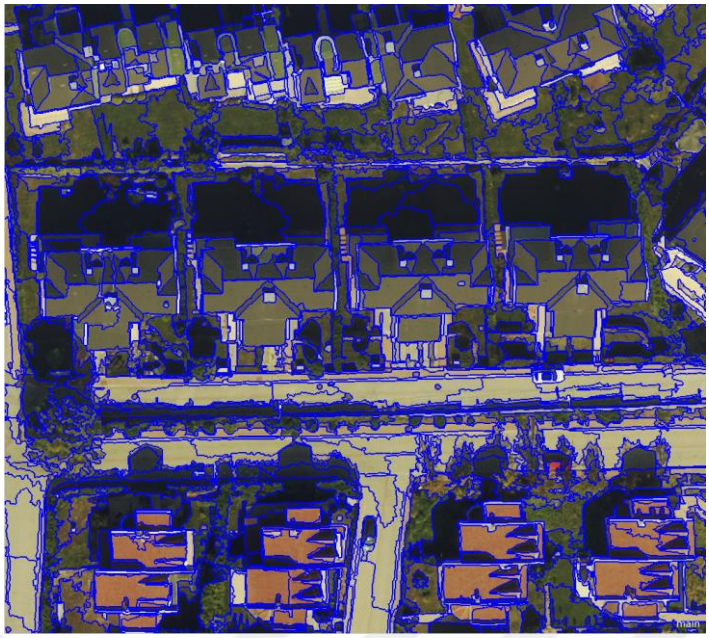
Çizelge 4.2 Yaklaşım 2 için segmentasyon parametre analizi

PARAMETRE ANALİZİ			
SEGMENTASYON YÖNTEMİ	**PARAMETRELER**		
	Ölçek	**Şekil**	**Bütünlük**
Şekil ve bütünlük değerleri sabit ölçek değişken	30	0.1	0.9
	50	0.1	0.9
	80	0.1	0.9
Şekil ve bütünlük değerleri değişken ölçek sabit	50	0.1	0.9
	50	0.3	0.7
	50	0.4	0.6
Seçilen Parametreler	**50**	**0.4**	**0.6**

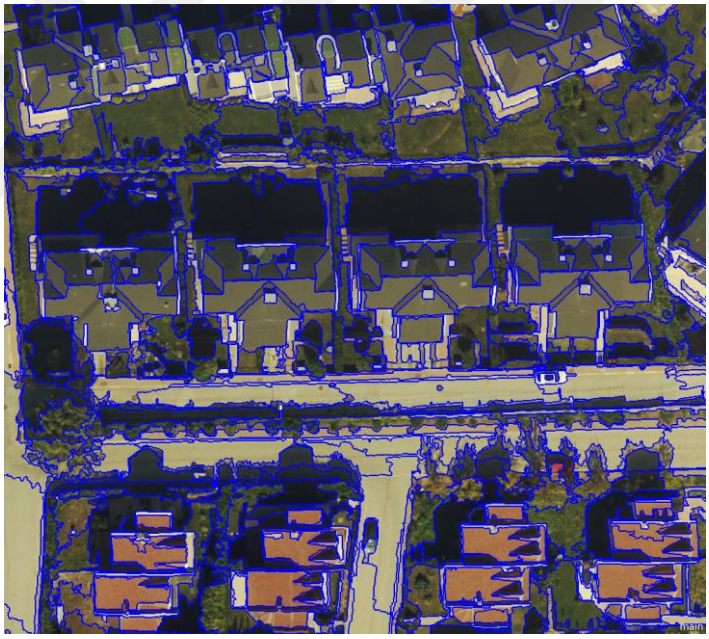
Öncelikle şekil ve bütünlük parametreleri şekil 0.1 ve bütünlük 0.9 olmak üzere sabit tutularak ölçek parametresi için sırasıyla 30, 50 ve 80 değerleri analiz edilmiştir. Segmentasyonda ölçek değeri arttıkça objeler arasındaki farklılıkları ve objeleri simgeleyen segmentlerin kaybolduğu görülmüştür. Öte yandan aynı ya da birbirine çok yakın özellikleri içeren segmentlerin sınıflandırma aşamasında aynı sınıfta olacakları olasılığı göz önüne alındığında, ölçek parametresinin objeye uygun maksimum segment büyüklüğünde olması kriteri gözetilmiştir. Ölçek parametresinin seçiminde bu kriterler etkili olmuştur. Ölçek parametresi olarak 50 değerinin kullanılmasına karar verilmiştir. (Şekil 3.26)



Şekil 4.26 Ölçek 30, şekil 0.1, bütünlük 0.9

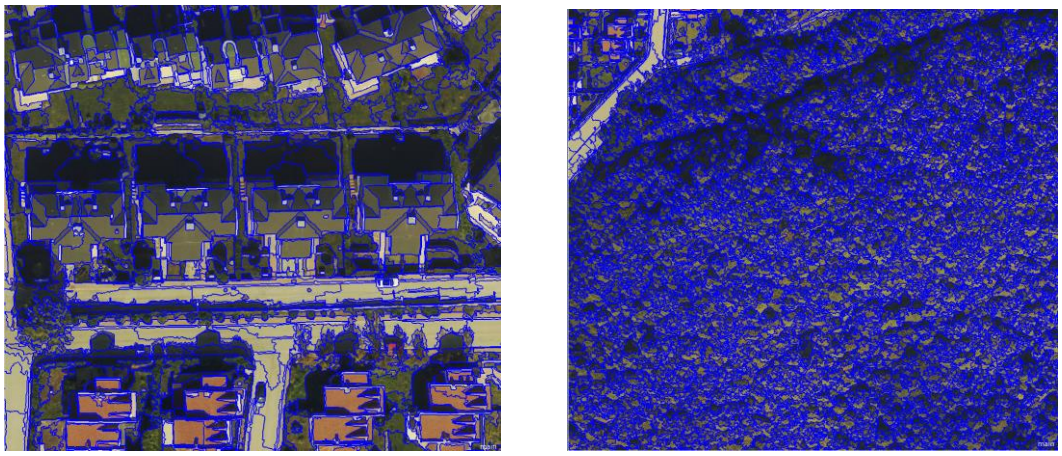


Şekil 4.27 Ölçek 50, şekil 0.1, bütünlük 0.9

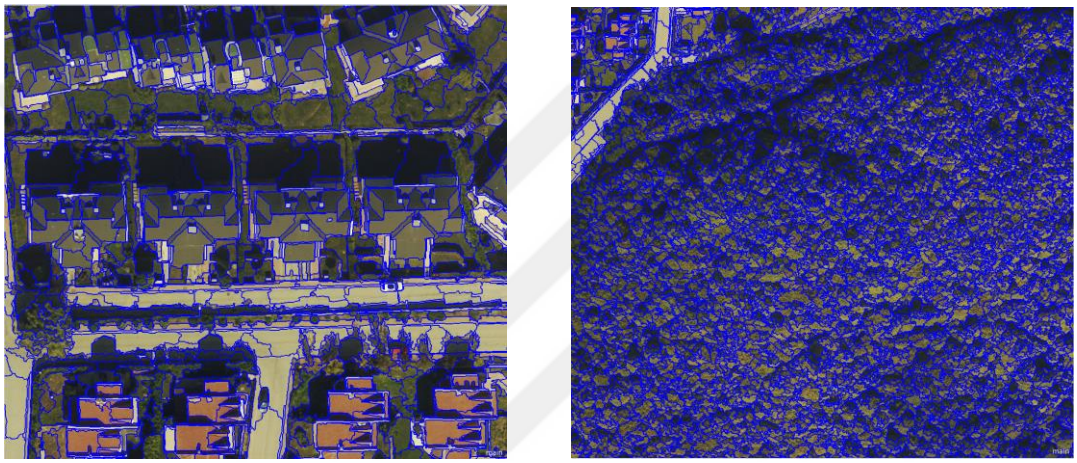


Şekil 4.28 Ölçek 80, şekil 0.1, bütünlük 0.9

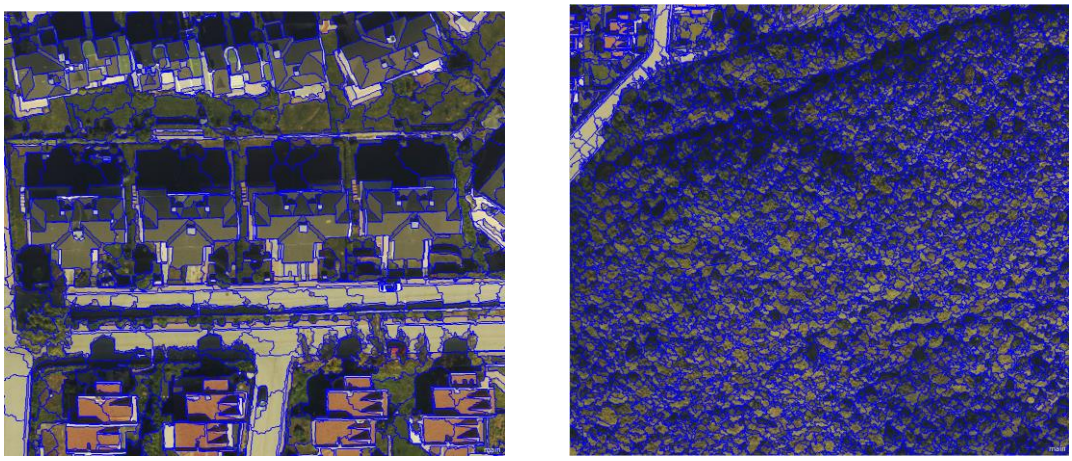
Ölçek parametresine karar verildikten sonra ölçek 50 değeri sabit tutulmuş, şekil ve bütünlük parametreleri değiştirilmiştir. Oluşan segmentler aşağıda yer alan konut ve orman alanları için ayrı ayrı alınmış olan görüntülerde yer almaktadır. Sırasıyla şekil-bütünlük parametreleri için 0.1-0.9, 0.3-0.7 ve 0.4-0.6 değerleri kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda 0.4-0.6 olarak belirlenen şekil-bütünlük parametreleri ile segmentler iyileştirilerek objeleri daha iyi simgeleyen segmentlerin oluşturulması sağlanmıştır.



Şekil 4.29 Ölçek 50, şekil 0.1, bütünlük 0.9 konut ve orman alanları



Şekil 4.30 Ölçek 50, şekil 0.3, bütünlük 0.7 konut ve orman alanları



Şekil 4.31 Ölçek 50, şekil 0.4, bütünlük 0.6 konut ve orman alanları

Yapılan analizler sonrasında ölçek parametresi için 50, şekil parametresi için 0.4 ve bütünlük parametresi için 0.6 değerleri tezin amacına yönelik sınıflandırmanın yapılabilmesi için yeterli bulunarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.31).

4.2.3.2 Sınıflandırma İşlemi

Bu uygulamada nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirecek kurallar yazılmıştır (Şekil 4.33). Segmentasyon işlemi sırasında oluşan segmentlerin, LiDAR, ortofoto ve yardımcı verilerden elde edilen bilgilerin eşik değer olarak kullanılmasıyla belirlenen sınıflara atanması sağlanmış, sınıf karışıklıklarının giderilmesi ve sınıfların iyileştirilmesi için yine bu verilerden faydalanılmıştır. Sınıfların oluşturulması ve segmentlerin doğru sınıfa atanabilmesi için yazılacak kurallarda kullanılacak veri ve eşik değerler için analizler gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonucunda bina, ağaç orman, yeşil zemin, gri zemin yol, gölge ve havuz sınıfları oluşmuştur (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Yaklaşım 1 için sınıf hiyerarşisi

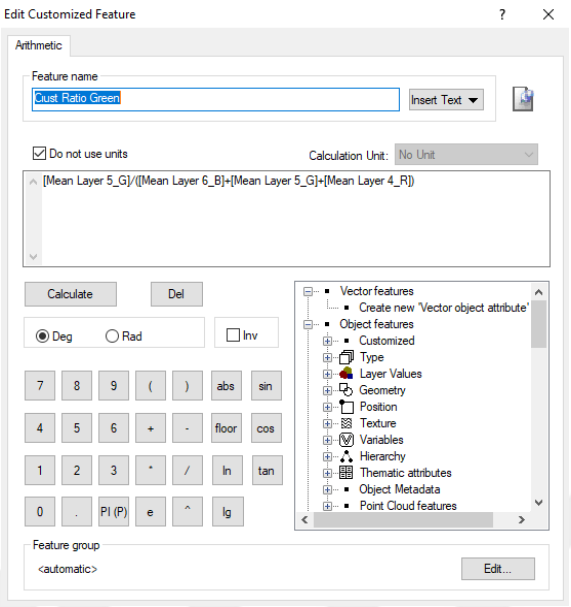


Şekil 4.33 Yaklaşım 2 için kural seti

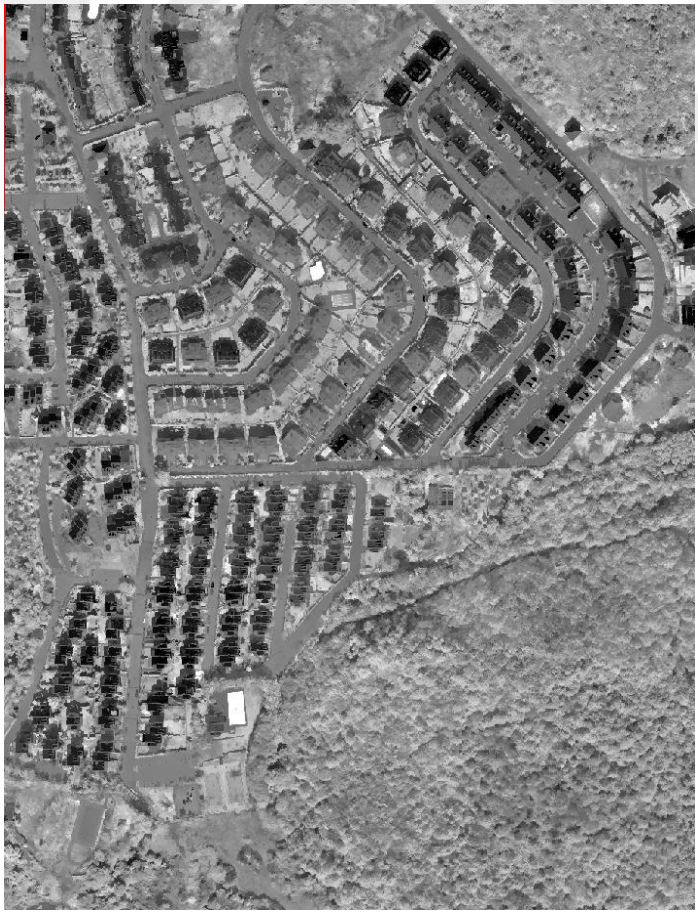
Bu yaklaşımda özellikle bina, ağaç ve bordür bitkileri nesnelerinin çıkarımı için çalışılmıştır. Bu sebeple sınıflandırma işlemine ilk olarak yerden belli yükseklikteki objelerin ayrılması için LiDAR nokta bulutundan n-YM görüntüsü üretilerek başlanılmıştır. Üretilen n-YM'e göre ≥2 eşik değeri ile belirlenen segmentler bina sınıfına atanmıştır. Bu işlemle belirlenen eşik değerine uygun olan bina, ağaç gibi yerden yüksek nesnelere ait bütün segmentler bina sınıfında yer almıştır.

Bina sınıfına atanmış binadan farklı yerden yüksek diğer nesnelerin ayıklanabilmesi için yeşil alan sınıfına atanacak nesnelerin belirlenmesine çalışılmıştır. Bunun için sayısal görüntüden faydalanılarak yeşil bant değeri tüm bant değerleri toplamına oranlanmış (Şekil 4.34) ve bu oran ile oluşan öznitelik görüntüsü (Şekil 4.35) üzerinden tespit edilen ≥0.36 eşik değerine uygun segmentler yeşil alan sınıfına aktarılmıştır. Fakat bu aşamada çatısı yeşil renkli çatı malzemesi ile kaplı binaların bulunmasından dolayı bir sınıf karışıklığı oluşmuştur. Bu karışıklığı giderebilmek için LiDAR nota bulutu verisinin çoklu yansıma özelliğinden (tüm/ilk/son yansıma) faydalanılarak tüm ve son yansıma (all ve last retuns) özelliğinden iki yardımcı görüntü oluşturulmuştur (Şekil 4.40). Bu iki yardımcı veri tüm yansıma / son yansıma şeklinde oranlanarak (Şekil 4.36) yeni bir görüntü üretilmiş olup, görüntüdeki siyah renkli alanlarda bu oran 1'e eşittir (Şekil 4.37). Bu hesap sonucunda oluşan görüntüdeki değerler için belirlenen ≤1.15 eşik değerine uygun olan yeşil alan sınıfındaki nesneler diğer sınıfına aktarılarak ayrılmıştır. Bu koşul ile nesnelerin kesin bir sınıfa ayrılamamasının nedeni tüm yansıma / son yansıma oranının ne anlama geldiğiyle ilgilidir. Bu oranın =1 olduğu yerler yüksekliğin homojen dağılımlı olduğu düz yüzeylerdir. İlk yansıma değerleri ise yüksekliğin heterojen dağılımlı olduğu genellikle ağaç alanları ile ilgili bilgi verir (Şekil 4.38). Dolayısı ile bu oran 1'den ne kadar büyükse bir ağaç objesini temsil etme ihtimali o kadar fazladır. Fakat çatıların bazı eğimli yerlerinde de bu oranın 1'e eşit olmadığı, çatılarda 1≤x≤1.15 aralığında değerler bulunduğu görülmüştür. Bu sebeple yeşil alan sınıfında bulunan 1≤x≤1.15 aralığındaki bina ve ağaç objelerini temsil eden segmentler üzerinde başka fonksiyon ve özelliklerin kullanılarak ayrılması amacıyla diğer sınıfında toplanması uygun görülmüştür (Şekil 4.39). Sonrasında bina sınıfı için kurulan sınır ilişkisi değerleri kullanılarak henüz hiçbir sınıfa atanmamış segmentler ile diğer sınıfına aktarılan segmentlerden bina sınır ilişkisinde ≥0.5 eşik değeriyle uyumlu bulunanlar

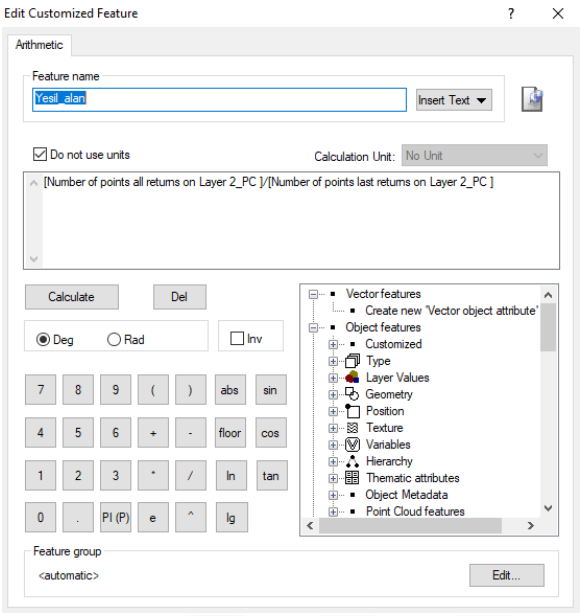
bina sınıfına, tüm yansıma / son yansıma oranının 1'e eşit olduğu diğer sınıfındaki segmentler ise sınıflandırılmamış segmentlere dâhil edilmiştir.



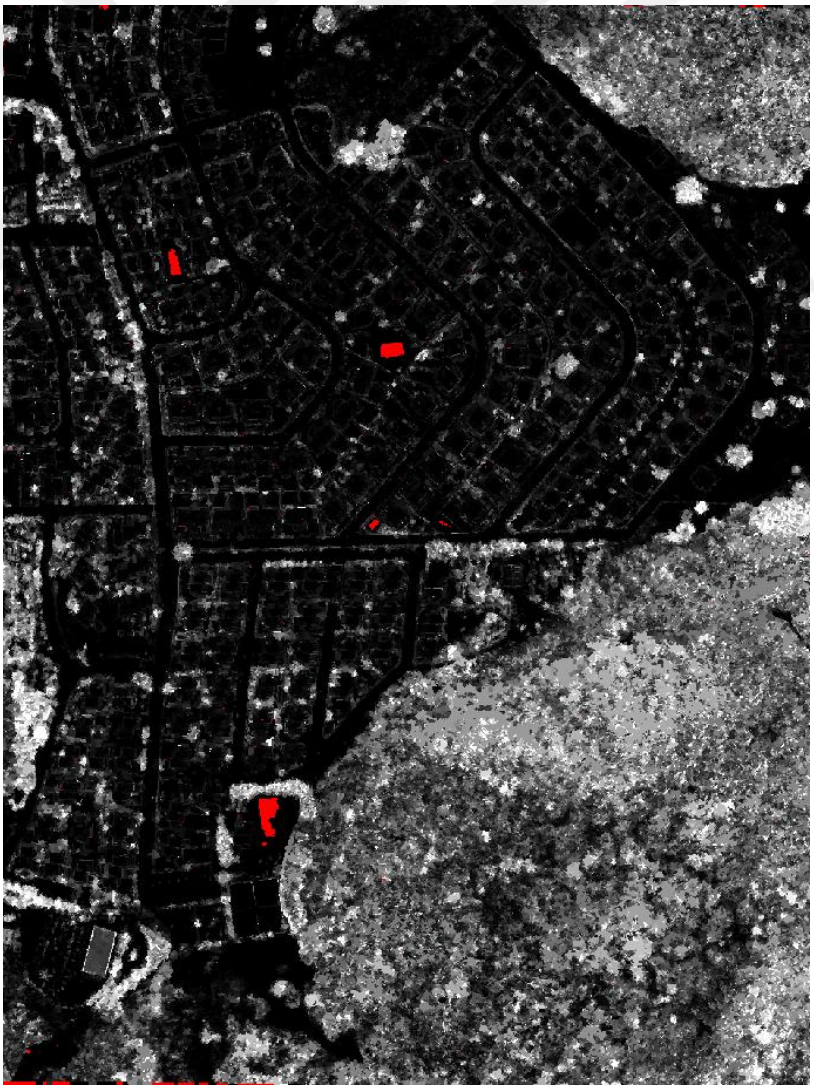
Şekil 4.34 Yeşil bant değerinin tüm bant değerlerinin toplamına oranı



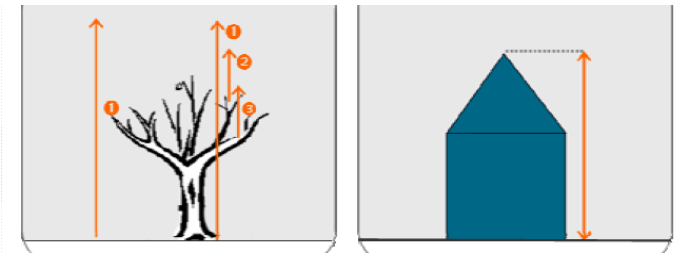
Şekil 4.35 Yeşil bant değerinin tüm bant değerleri toplamına oranlanması sonucu oluşan görüntü



Şekil 4.36 Tüm yansıma / son yansıma oranlaması



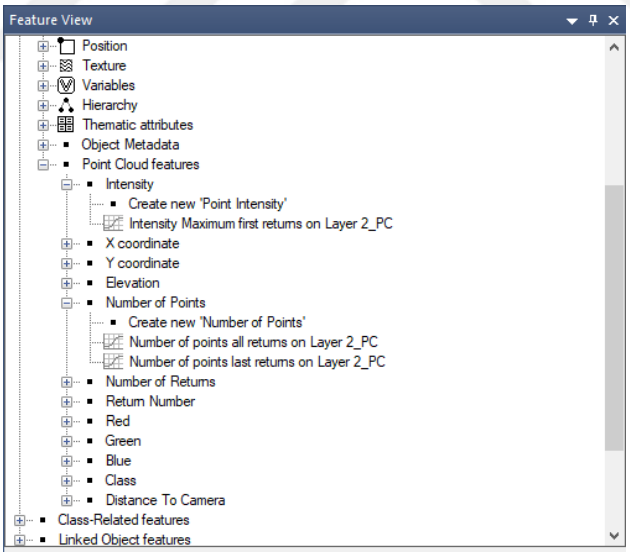
Şekil 4.37 Nokta bulutu tüm/son yansıma hesabıyla üretilen yardımcı görüntü



Şekil 4.38 Yükseklik farkının nokta bulutu dönüş sayısına göre ağaç ve bina nesnelerindeki durumu [54]

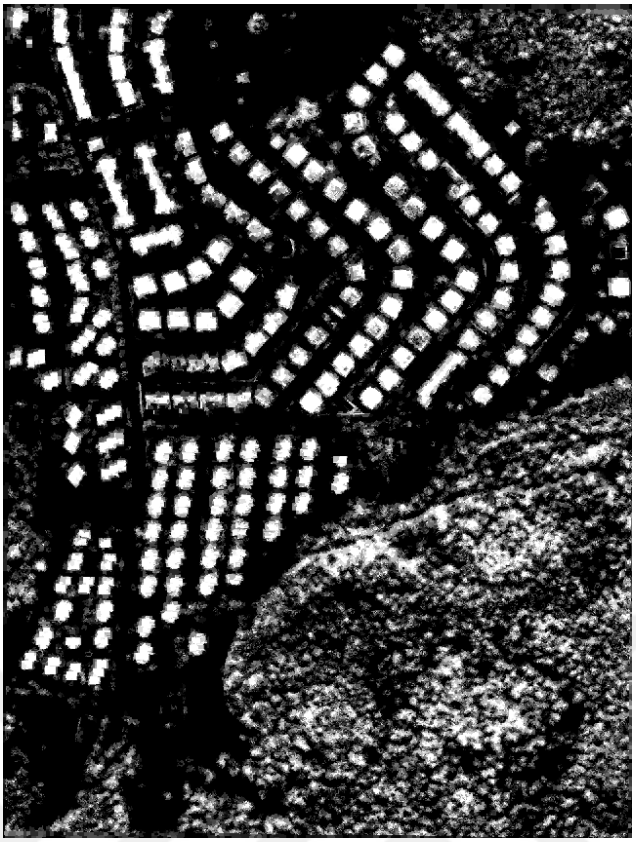


Şekil 4.39 Yeşil renk çatılı binalar sebebiyle sınıf karışıklığı

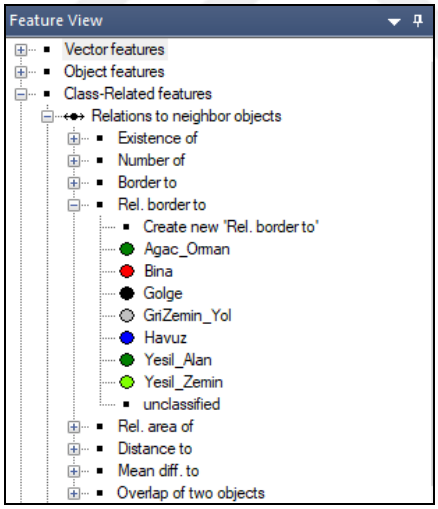


Şekil 4.40 Nokta bulutu özniteliklerinden üretilen yardımcı görüntüler

İstenilen sınıf için obje şekline göre sınır ilişkisi kurularak üretilen değerler, kural seti içerisinde uygun görülen adımlarda tekrarlanarak belirlenen eşik değerle herhangi bir sınıfın komşuluğunu baz alıp, seçilen sınıfın iyileştirilmesi için sıklıkla kullanılmıştır (Şekil 4.41). Sınır ilişkisi uygulama içerisindeki her sınıf için uygun adımlarda kullanılmıştır (Şekil 4.42).



Şekil 4.41 Segmentlerin bina sınıfı ile olan sınır ilişkisi örneği



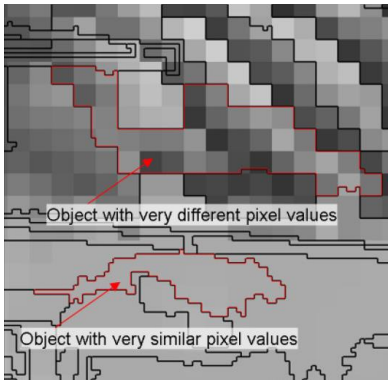
Şekil 4.42 Sınır ilişkisi üretme fonksiyonu

Yeşil alan sınıfını iyileştirmek için, daha önce gerçekleştirilen işlemlerde yeşil alan sınıfına atanmış olan fakat farklı sınıfa ait olabilecek segmentleri tespit etmek amacıyla ortofotonun yeşil bandının standart sapma değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerin oluşturduğu görüntü (Şekil 4.43) için belirlenen <5 eşik değerine uygun segmentler yeşil alan sınıfından sınıflandırılmamış segmentler içine aktarılmıştır.



Şekil 4.43 Yeşil bant standart sapma değerleri ile oluşan görüntü

Standart sapma fonksiyonu ile bir segmenti oluşturan piksellerin gri değerlerinin değişkenliği ya da benzerliği bize obje hakkında bilgi verir. Örneğin SYM üzerinden hesaplanan standart sapma görüntüsünde bir alana ait piksel gri değeri çeşitliliği o alanda yükseklik değişiminin fazla olduğunu gösterir ve standart sapma değeri yüksektir. Tam tersine bakıldığında ise gri değerlerin benzerlik gösterdiği alanlar standart sapma değerinin düşük olduğu yerler olup, objenin homojen bir yüzeye sahip olduğu bilgisini verir (Şekil 4.44).



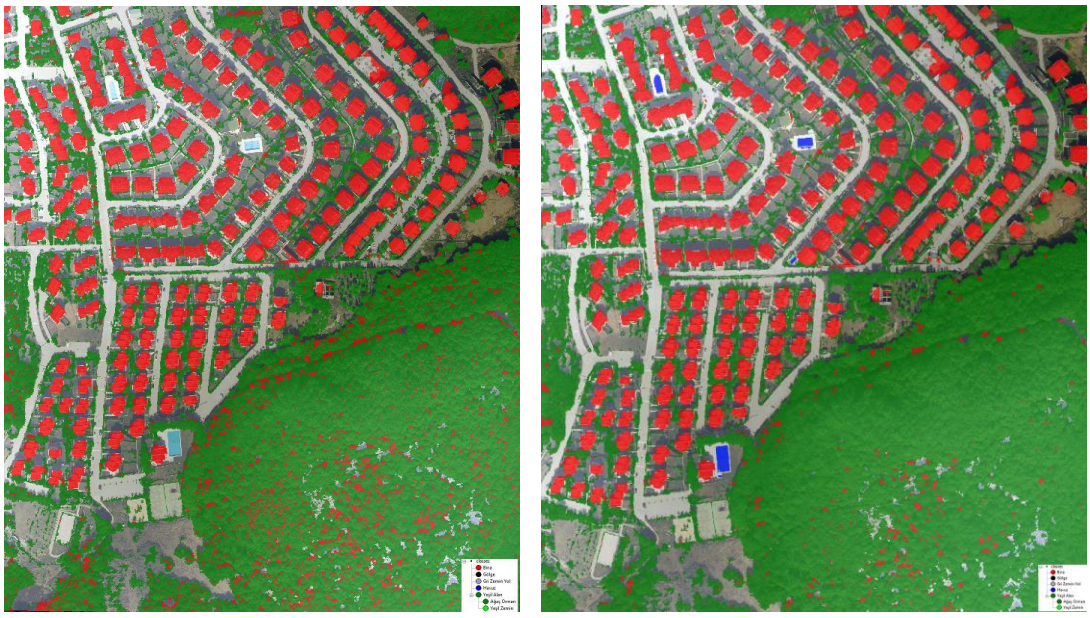
Şekil 4.44 SYM üzerinden standart sapma hesabı ile oluşturulan görüntü örneği [54]

Bina ve yeşil alan sınıf karışıklıklarını gidermek için LiDAR nokta bulutu yoğunluk verisinden faydalanılmıştır. Nokta bulutunun çoklu yansıma özelliği ile bina ve ağaçları birbirinden ayırmada yararlanılacak olan maksimum algoritması kullanılarak ilk yansıma değerlerinden üretilen yoğunluk görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 Maximum algoritması ve ilk yansıma değerleri ile üretilen yoğunluk görüntüsü

Bina ve yeşil alan sınıflarında yapılan iyileştirmelerden (Şekil 4.46) sonra yeşil renkli çatısı olan binalardan kaynaklanan sınıf karışıklıkları için oluşturulan diğer sınıfındaki segmentler, sınır komşuluğu ve yeşil bant ağırlığı eşik değerleri kullanılarak bina, yeşil alan sınıfları ile sınıflandırılmamış segmentlere atanarak temizlenmiştir.



a) b)

Şekil 4.46 Bina ve yeşil alan sınıf karışıklıkları (a), bina ve yeşil alan sınıflarının iyileştirilmesi (b)

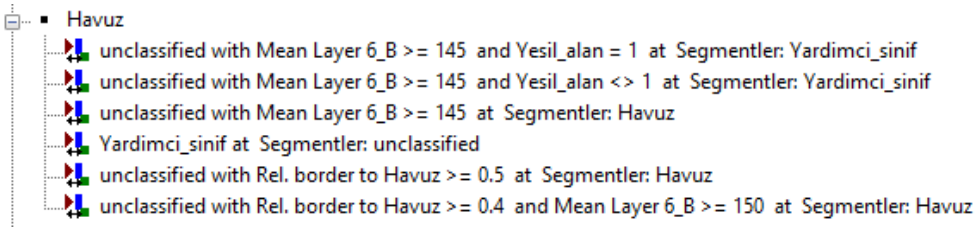
Bina ve yeşil alan sınıf karışıklıkları için yapılan iyileştirmeler sonucunda hala bina sınıfında kalmış olan küçük segmentleri ayıklamak için bina objelerini temsil eden segmentler birleştirilerek obje haline getirilmeye çalışılmıştır. Bu işlem sonrasında bina sınıfında yer alan fakat bir bina objesini temsil edemeyecek büyüklükteki alanlar (Şekil 4.47) temizlenmiştir.



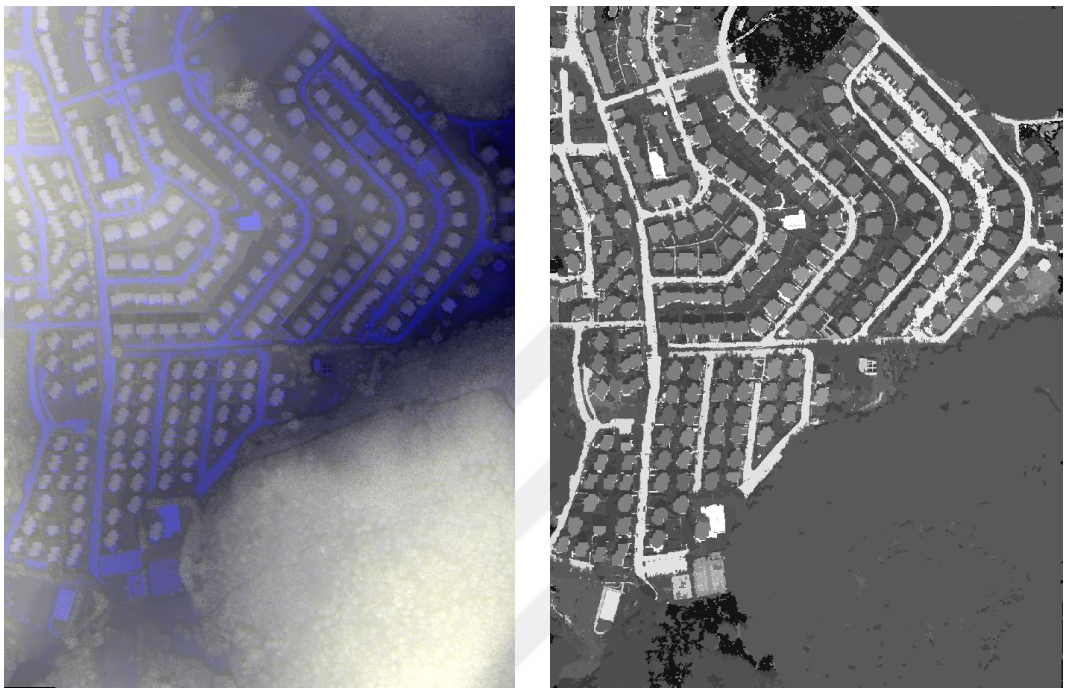
Şekil 4.47 Bina sınıfındaki bir binadan daha küçük objeler

Bu aşamadan sonra yeşil alan sınıfı ağaç orman ve yeşil zemin olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmıştır. Yazılan kurallar ile yeşil alan sınıfına atanan bütün segmentler yerden yüksek olan ağaç, bordür, çalılık gibi nesneleri içerdiğinden tamamı ağaç orman sınıfına aktarılmış olup, yeşil zemin sınıfına atanacak segmentler yeşil bant ağırlığı ve n-YM değerlerinden yararlanılarak belirlenen eşik değerler ile sınıflandırılmaya çalışılmıştır.

Gri zemin ve yol objeleri ortofotonun mavi bant değerleri (Şekil 4.49) yardımı ile belirlenen eşik değere uygun olarak Gri zemin yol sınıfında toplanmıştır. Bu sınıftaki segmentler birleştirilmiş ve sınır ilişkisi değeri =1 olan segmentler de bu sınıfa atanarak sınıf iyileştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan havuz sınıfı da mavi bant değerlerinden faydalanılarak elde edilmiştir. Bu aşamada gri zemin yol sınıfı ile havuz sınıfı arasında sınıf karışıklığı oluşmaması için zemin ve yolları temsil eden alanları ayırmak için tüm yansıma / son yansıma hesabına ait değerlerden faydalanılarak zemin ve yollardan önce havuz sınıfının oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 4.48).



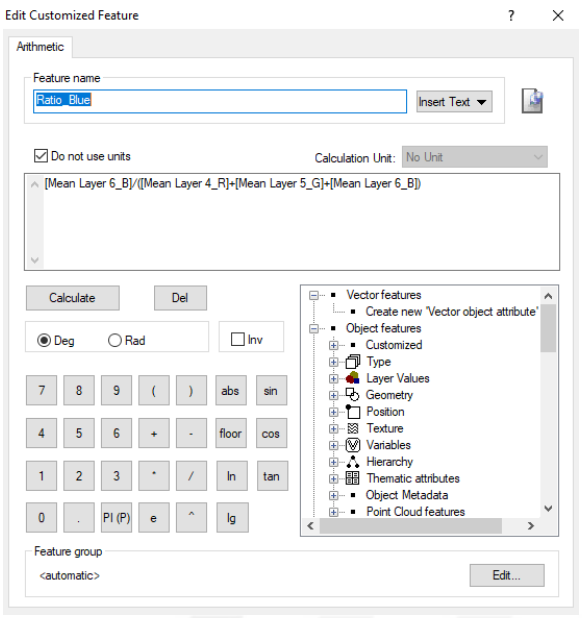
Şekil 4.48 Havuz sınıfını oluşturan kurallar



a) b)

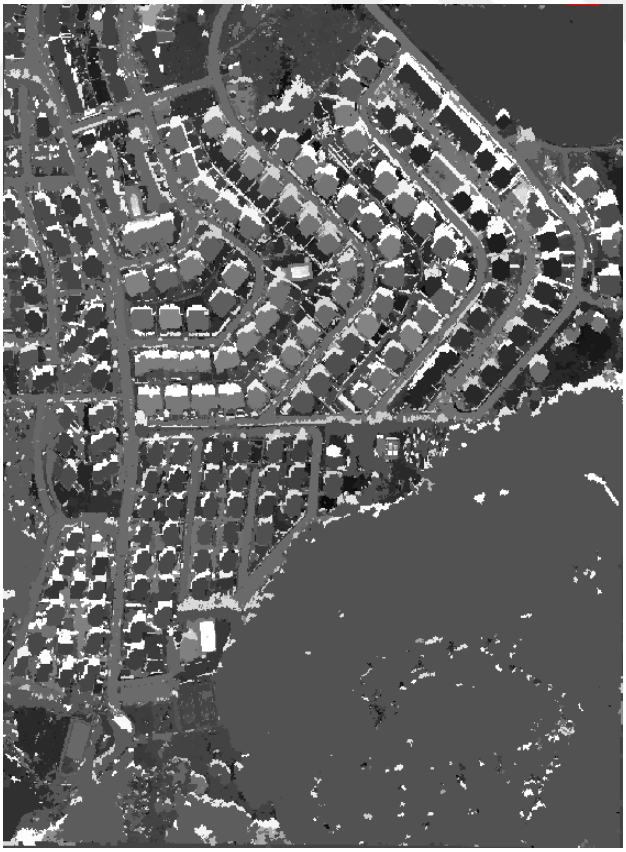
Şekil 4.49 Ortofoto mavi bant görüntüsü (a), ortofoto mavi bant katmanından üretilen görüntünün (b) gri zemin, yol ve havuzların tespiti için kullanımı

Gölge sınıfı için ortofotonun mavi bant değerinin tüm bant değerleri toplamına oranlanmasıyla gerçekleştirilen aritmetik hesap (Şekil 4.50) ile oluşan görüntüden (Şekil 4.51) gölge olan alanların belirlenmesi sağlanmıştır. Çalışma alanı genelinde zeminde, ormanlık alanda ve bina çatılarında gölgeler bulunmaktadır. Obje çıkarımı için gerçekleştirilen sınıflandırma işleminde öncelik bina ve ağaç objelerinin çıkarımına verildiğinden bina çatılarındaki ve ormanlık alanın çoğu yerindeki gölge alanlar ait olduğu gerçek nesnenin sınıfına atanmaya çalışılmıştır. Bu sebeple sınıflandırma sonucunda elde edilen gölge alanlarının çoğunluğu zeminde yer alan gölgelerdir.



Şekil 4.50 Ortofoto mavi bant değerinin tüm bant değerlerinin toplamına oranı

Şekil 4.51'de mavi bant için gerçekleştirilen aritmetik hesap ile oluşturulan görüntüde yer alan beyaz renge yakın olarak görünen alanlar bize gölge ve havuz alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.51 Mavi bant değerinin tüm bant değerleri toplamına oranlanması sonucu oluşan görüntü

Gerçekleştirilen işlemlerin sonunda kalan sınıflandırılmamış segmentler sınıf sınır ilişkisi yardımıyla komşuluk değerlerine göre ilgili sınıfına atanarak sınıflandırma işlemi sonuçlandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda bina, ağaç orman, yeşil zemin, gri zemin yol, havuz ve gölge sınıfları ortaya çıkmıştır (Şekil 4.52). Bu sınıfları temsil eden objeler alan veri tipinde ve shp formatında kaydedilerek obje çıkarımı tamamlanmış ve objeler doğruluk analizine hazır hale getirilmiştir.



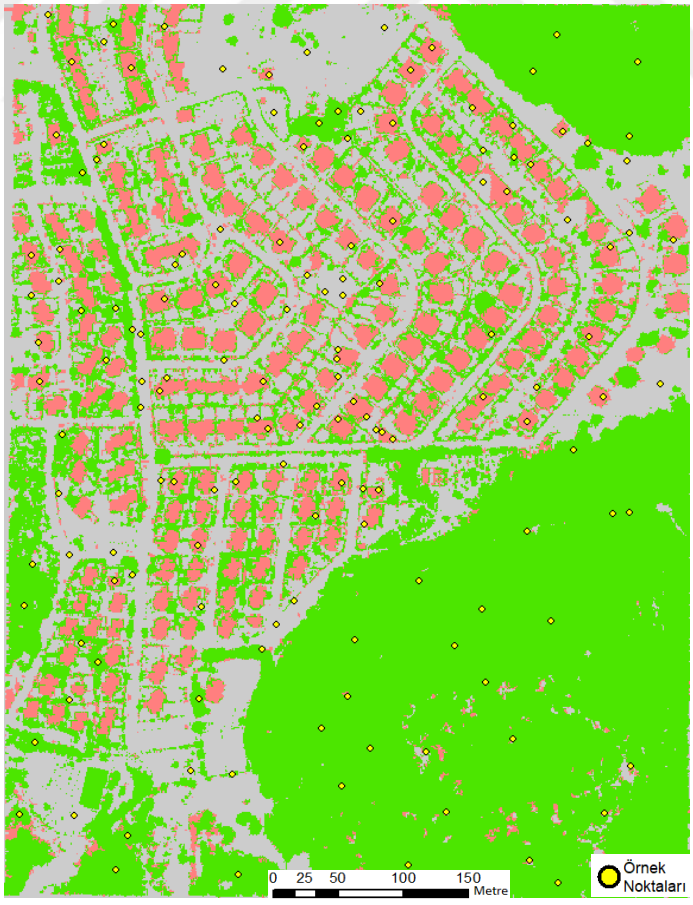
Şekil 4.52 Çalışma alanı bütününde sınıflandırma sonucu

4.3 Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi için örnek seçimi ile hata matrisinin oluşturulması yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada da hata matrisinden genel ve sınıf bazında doğruluk hesabı ile Kappa değeri hesabı yapılarak sınıflandırma performansları analiz edilmiştir. Hata matrisinin oluşturulması ve Kappa değerinin hesabı için çalışma alanına rastgele atılan noktaların (Şekil 4.53 ve Şekil 4.54) uygulamalar sırasında belirlenen sınıflara uygun olarak ortofotodan belirlenen gerçek sınıfı ile sınıflandırma sonucunda oluşan obje sınıfları karşılaştırılmıştır. Sınıf bazında değerlendirilen nokta sayıları ile hata matrisi oluşturulmuştur. Sınıflar için kullanılacak örnek nokta sayıları Merril ve James'in [41] önerdiği (3.1) eşitliğine göre her iki yaklaşımın genel doğruluğu göz önüne alınarak yaklaşımlar için ayrı ayrı aşağıdaki şekilde hesaplanmış olup, ilk yaklaşım için 50, ikinci yaklaşım için 54 nokta kullanılması uygun bulunmuştur.

$N_1 = 1{,}96^2 * 75 * (100-75) / 12^2 = 50{,}0208$

$N_2 = 1{,}96^2 * 90 * (100-90) / 8^2 = 54{,}0225$



Şekil 4.53 Yaklaşım 1 için doğruluk analizinde kullanılan noktalar



Şekil 4.54 Yaklaşım 2 için doğruluk analizinde kullanılan noktalar

Her iki yaklaşım için de doğruluk analizinde aynı yöntem izlenmiştir. Yaklaşım 1 için genel doğruluk %79.33 ve Kappa değeri 0.690, yaklaşım 2 için genel doğruluk %81.97, Kappa değeri 0.777 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın aşamaları ele alındığında segmentasyon parametre analizi, yükseklik modelleri doğruluğu, filtrelenen veri doğruluğu, LiDAR nokta bulutundaki gürültüler, sınıflandırma için oluşturulan kural seti ve kuralların uygun sıralamayla işleme sokulması gibi etmenlerin doğruluğu etkilediği görülmüştür.

4.3.1 Yaklaşım 1 için Doğruluk Analizi

Bu yaklaşım ile yapılan uygulamada 3 farklı sınıfta obje çıkarımı gerçekleştirilmiş olup, sınıflandırma bütünündeki genel doğruluk değeri ile her sınıf için ayrı ayrı doğruluk değerleri hata matrisi yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Bunun yanı sıra Kappa değeri hesabı yapılmış ve doğruluğun bu değer ile de belirlenmesi sağlanmıştır.

Doğruluk analizini gerçekleştirmek için çalışma alanına N_1 olarak belirlenen değere göre her sınıf için 50'şer adet olmak üzere toplam 150 adet nokta atılmıştır. Bu yaklaşımda yer ve yer üstü objelerimin ayırımına çalışıldığından her sınıfın önem derecesi aynı tutulmuş ve her sınıf için eşit sayıda nokta atılmıştır. Ortofoto üzerine atılan noktaların sınıf bilgileri, sınıflandırma işleminde belirlenen sınıflar ile uygun olacak şekilde girilmiş ve aynı noktaların gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu oluşan objeler üzerinde denk geldiği sınıfları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.53).

Bu uygulamada gerçekleştirilen sınıflandırma işleminin genel doğruluğu %79.33 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.3'te her sınıf için hesaplanan doğruluk değerleri görülmektedir. Hata matrisi satır ve sütun elemanlarının toplamları ile köşegen elemanları kullanılarak Kappa hesabı yapılmış, buna göre de doğruluk 0.690 çıkmıştır.

Çizelge 4.3 Yaklaşım 1 için hata matrisi

		Sınıflandırılmış Objeler ve Zeminin Üzerine Atılan Nokta Sayıları					
	Sınıflar	Zemin	Diğer	Ağaç	Satır Toplamı (x_{i+})	Sınıflandırma Doğruluğu	(x_{i+}*x_{+i})
Bilinen Sınıf Tipleri	Zemin	**36**	5	9	50	72.00%	2100
	Diğer	4	**39**	7	50	78.00%	2400
	Ağaç	2	4	**44**	50	88.00%	3000
	Sütun Toplamı (x_{+i})	42	48	60	150		7500
	Genel Doğruluk	**79.33%**					

K=[(150*119)-7500] / (1502-7500) = 0.690

Genel Doğruluk = %79.33

4.3.2 Yaklaşım 2 için Doğruluk Analizi

Bu yaklaşım ile yapılan uygulamada 6 farklı sınıfta obje çıkarımı gerçekleştirilmiş olup, sınıflandırma bütünündeki genel doğruluk değeri ile her sınıf için ayrı ayrı doğruluk değerleri hata matrisi yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Bunun yanı sıra Kappa değeri hesabı yapılmış ve doğruluğun bu değer ile de belirlenmesi sağlanmıştır.

Doğruluk analizini gerçekleştirmek için hesaplanan N_2=54 değerine göre her sınıf için önem durumu da dikkate alınarak nokta sayısı belirlenmiş ve çalışma alanına toplam 233 adet nokta atılmıştır. Bu yaklaşımın doğruluk analizinde, sınıflandırma önemi yüksek olmayan ya da çalışma bölgesinde obje sayısı/alanı daha az olan havuz, gölge,

gri zemin yol ve yeşil zemin sınıfları için hesaplanandan daha az sayıda noktayla, bina ve ağaç orman sınıfı için ise hesaplanan değerde 54 adet örnek noktayla doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Ortofoto üzerine atılan noktaların sınıf bilgileri sınıflandırma işleminde belirlenen sınıflar ile uygun olacak şekilde girilmiş ve aynı noktaların gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu oluşan objeler üzerinde denk geldiği sınıfları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.54).

Bu uygulamada gerçekleştirilen sınıflandırma işleminin genel doğruluğu %81.97 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.4'te her sınıf için hesaplanan doğruluk değerleri görülmektedir. Havuz sınıfının doğruluğu %66.67 çıkmış, %75 performansının altında kalmıştır. Bunun sebebi ortofoto üzerinde yansıma değeri yeşil renk olarak görünen havuz sularıdır.

Çizelge 4.4 Yaklaşım 2 için hata matrisi

		Sınıflandırılmış Objeler ve Zeminin Üzerine Atılan Nokta Sayıları								
	Sınıflar	GriZeminYol	Bina	YesilZemin	Golge	Havuz	AgacOrman	Satır Toplamı (x_{i+})	Sınıflandırma Doğruluğu	(x_{i+}*x_{+i})
Bilinen Sınıf Tipleri	GriZeminYol	**38**	3	2	1	1	0	45	84.44%	1980
	Bina	4	**42**	3	2	0	3	54	77.78%	2808
	YesilZemin	1	2	**36**	4	0	2	45	80.00%	2115
	Golge	0	2	0	**18**	0	0	20	90.00%	540
	Havuz	1	0	3	1	**10**	0	15	66.67%	165
	AgacOrman	0	3	3	1	0	**47**	54	87.04%	2808
	Sütun Toplamı (x_{+i})	44	52	47	27	11	52	233		10416
	Genel Doğruluk	**81.97%**								

K=[(233*191)-10416] / (2332-10416) = 0.777

Genel Doğruluk = %81.97

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak kural seti geliştirilmiş, LiDAR sisteminden elde edilen nokta bulutu ve ortofoto verilerinin farklı kombinasyonlarda kullanılmasıyla yer ve yere ait olmayan objelerin çıkarımı için yaklaşımlar benimsenerek iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Yaklaşımlardan ilkinde gerçekleştirilen uygulamada sadece LiDAR nokta bulutu kullanılarak yere ait olmayan objeler için ağaç ve diğer sınıfları ile yer için zemin sınıfının oluşturulması hedeflenmiştir. İkinci yaklaşımda gerçekleştirilen uygulamada ise farklı zamanlarda üretilen LiDAR nokta bulutu ile ortofoto birlikte kullanılarak bina, ağaç, gölge, zemin, yol ve havuz objelerinin çıkarımında karşılaşılan sınıf karışıklıklarının geliştirilen kurallarla giderilmesi hedeflenmiştir.

Yaklaşımların her ikisi için de gerçekleştirilen uygulamalarda obje çıkarımı için filtreleme, segmentasyon, sınıflandırma ve doğruluk analizi işlem adımları izlenmiştir. Her iki uygulama için de sınıf doğruluğunu etkileyen ortak etmenlerin varlığı gözlemlenmiştir. Filtreleme işlemlerinin ve işlem sonucunda elde edilen yükseklik modellerinin doğruluğu, segmentasyon parametrelerinin amaca en uygun şekilde belirlenmesi ve sınıflandırma aşamasında oluşturulan kurallarda kullanılan eşik değer analizlerinin doğruluğu her iki yaklaşımı da etkileyen ortak parametreler olmuştur. Her iki uygulamada da benzer yükseklikte objelerin bulunması, aynı spektral yansıma değerine sahip segmentlerin varlığı ve LiDAR nokta bulutu verisi ile ortofotonun aynı tarihlerde üretilmemiş olması gibi nedenler sınıf karışıklıkları sorunlarına sebep olmuştur. Bu sorunlar, farklı öznitelik verileri üzerinden gerçekleştirilen analizler ve

LiDAR nokta bulutu ve ortofotonun bütünleşik kullanıldığı yaklaşım ile giderilmeye çalışılmıştır.

Sadece LiDAR nokta bulutunun kullanıldığı ilk yaklaşımda zemin, ağaç ve yerden yüksek diğer objelerin çıkarılması hedeflenmiş olup, sadece nokta bulutu yükseklik ve yoğunluk bilgilerinden faydalanılarak obje çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Yükseklik bilgisi kullanılarak yer ve yerden yüksek objelerin ayrılması sağlanmış fakat benzer yükseklik değerine sahip olan ağaç ve bina gibi yerden yüksek diğer nesnelerin ayrılmasında sorun yaşanmıştır. Sınıflandırma sonucunda çalışma bölgesindeki ormanlık alanda ağaç olmayan yerden yüksek objeler için oluşturulan diğer sınıfına ait segmentlerin kaldığı görülmüştür. Bu yaklaşım için yapılan doğruluk analizinde sınıflandırma doğruluğu genel doğruluk için %79.33, genel Kappa için %69 olarak elde edilmiştir. Bu uygulama sonucunda sınıflandırma doğruluğunun düşük çıkması ve Kappa analizine göre yeterli doğrulukta olmaması, sınıf karışıklıklarının tamamen giderilememiş olması ve elde edilen sınıfların kentsel alanda yer alan objelerin tamamını temsil etmek için yeterli bulunmamış olması sebebiyle ikinci bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur.

Aynı çalışma bölgesinde LiDAR nokta bulutu ile ortofotonun bütünleşik kullanıldığı diğer yaklaşımda gerçekleştirilen uygulamada ise bina, ağaç orman, yeşil zemin, gri zemin yol, havuz ve gölge sınıfları oluşturulmuştur. Çalışma bölgesinde yer alan binaların bir kısmının yeşil renk çatı malzemesi ile kaplı olmasından dolayı bina ve ağaç orman sınıflarının karıştığı gözlemlenmiştir. Bunun dışında binalardaki teras ve balkonlar, teraslardaki yeşil bitkiler, binalara ait merdivenler gibi objeler de bina sınıfı ile gri zemin yol ve ağaç orman sınıfları arasında karışıklıklara sebep olmuştur. Bu sonuçlara bakıldığında sayısal görüntü üzerinden yansıma değerlerinin kullanılarak gerçekleşen sınıflandırmalarda aynı spektral değere sahip segmentlerin aynı sınıfta toplanarak sınıflandırma doğruluğunu düşürdüğü görülmüştür. Bütün bu sınıf karışıklığı sorunlarının yanı sıra uygulamada kullanılan ortofoto ve LiDAR verisinin farklı zamanlarda üretilmesinden kaynaklanan sınıf karışıklıkları da görülmüştür. Örneğin ortofotoda görülen yol üzerindeki araçlar yere ait olmayan yerden yüksek objeler olmasına rağmen yol sınıfı içinde kalmıştır. Çünkü yükseklik farkı LiDAR nokta bulutu üzerinden hesaplanmış olup, LiDAR nokta bulutu verisi toplanırken ortofotodaki araçların bulunduğu yerlerde araç bulunmadığı değerlendirilmiştir. Bu tür farklılıklar

LiDAR veri toplama tarihi (Eylül 2013) ile ortofoto görüntü alım tarihinin (Kasım 2013) farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu zaman aralığında araçlar gibi hareketli objelerin yer değiştirmesi sınıflandırma sonuçlarını etkilemiştir. Bu uygulamada karşılaşılan en büyük sorun oluşan bu sınıf karışıklıklarıdır. Bütün bu sorunların yanı sıra ortofoto ve LiDAR verilerinin bütünleşik kullanımı, çalışma bölgesinde arazi üzerinde yer alan objelerin daha ayrıntılı sınıflara ayrılmasına olanak sağlamış ve kentsel alanlarda otomatik obje çıkarımı için avantajlı bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Ortofotonun her bandında çalışılabilme imkânı ve LiDAR nokta bulutundaki yükseklik ve yoğunluk bilgileri ile sınıfların iyileştirilmesi sağlanmış, fakat uygulamada kullanılan veri setinin eş zamanlı üretilmemiş olması hedef sınıfların doğruluğunda etkili olmuştur. Bu yaklaşım için yapılan doğruluk analizinde sınıflandırma doğruluğu genel doğruluk için %81.97, genel Kappa için %77.7 olarak elde edilmiştir. Bu uygulamada oluşturulan sınıflar ve bu sınıflarda elde edilen obje çeşitleri kentsel alanlarda veri ihtiyacını karşılayabilecek çeşitliliktedir.

İki uygulamanın da sonuçlarına bakıldığında nesne tabanlı otomatik obje çıkarımı için öncelikle elde edilmek istenen objelere ait hedefe sınıfların belirlenerek uygun veri setlerinin seçilmesi gerektiği görülmektedir. Uygun verilerle çalışılması istenilen ayrıntıda ve sayıda sınıfın elde edilebilmesi için oldukça önemlidir. Çalışma sonucunda ortofoto ve nokta bulutu verilerinin bütünleşik kullanımı ile elde edilen objelerin daha anlamlı ve ayrıntılı olduğu, sınıf doğruluklarının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu uygulamada belirlenen hedef sınıflarda üretilen objelerin çeşitliliği ile kentsel alandaki veri ihtiyacının karşılanabileceği görülmüştür. Buna ek olarak sayısal görüntüde yakın kızıl ötesi bant bulunması durumunda NDVI görüntüsü üretilip, yeşil alan sınıfı desteklenerek daha yüksek doğruluklu sonuç elde edilebilir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşımlar ve nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı için hazırlanan kural setleri, farklı çalışma alanlarındaki benzer nesne sınıfları için uygun parametre analizleri, belirlenecek uygun eşik değerler ve ihtiyaç duyulduğunda eklenebilecek yeni kurallar ile başka uygulamalarda da kullanılabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

[1] Uzar, M. Ve Yastıklı, N., (2011). "Çoklu Algılama Sistemleri ile Obje Çıkarımı", Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) 6. Teknik Sempozyumu, 23-26 Şubat 2011, Antalya.

[2] Zheng, J., Mccarthy, T., Fotheringham, A.S. ve Yan, L., (2008). "Linear Feature Extraction Of Buildings From Terrestrial Lidar Data With Morphological Techniques", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Part B1, Beijing, 2008.

[3] Schenk, T. (1999). Digital Photogrammetry, Terra-Science, Laurelville.

[4] Uzar Dinlemek, M. (2012). Otomatik Bina Çıkarımı Uygulamalarında Çoklu Algılama Sistemi Verilerinin Kullanım Olanaklarının Analizi, Yayınlanmış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] Uzar, M. ve Yastıklı, N., (2011). "LiDAR ve Sayısal Hava Fotoğraflarının Füzyonu ile Otomatik Bina Çıkarımı", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.

[6] Baltsavias, E. P., (1999). "Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:164-198.

[7] Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., Grussenmeyer, P. ve Smigiel, E., (2006). "New Approach For Automatic Detection Of Buildings In Airborne Laser Scanner Data Using First Echo Only, IAPRSIS, Bonn, Germany, 25-30.

[8] Sabuncu, A. ve Sunar, F. (2017). "Ortofotolar ile Nesne Tabanlı Görüntü Sınıflandırma Uygulaması: Van-Erciş Depremi Örneği", Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1: 1-8.

[9] Kalkan, K. ve Maktav, D., (2010). "Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS Örneği)", UZAL-CBS 2010, 13 Ekim 2010, Gebze.

[10] Özdemir, İ., (2013). "Havasal LiDAR Verileri Kullanılarak Meşcere Parametrelerinin Tahmin Edilmesi", SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14: 31-39.

[11] Polat, N. ve Uysal, M., (2014). "Hava LiDAR Verilerinin Eğim Temelli Algoritma ile Filtrelenme Performansının Araştırılması", V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

[12] Digital Elevation Model Tecnologies and Applications: The DEM User Manuel Ed. by David F. Maune (2007). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISBN 1-57083-082-7, Bölüm: 7, "Topographic and Terrestrial Lidar", Robert A. Fowler, Andre Samberg, Martin J. Flood, Tom Greaves.

[13] Lohmann, P., Koch, A. ve Schaeffer, M., (2000). "Approaches to The Filtering of Laser Scanner Data", IAPRS, Part B3/1, Amsterdam, The Netherlands, 534-541.

[14] Vosselman, G., (2000). "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands, 935-942.

[15] Wack, R., Wimmer, A., (2002). "Digital Terrain Models From Airborne Laser Scanner Data – A Grid Based Approach", IAPRS, Part 3B, ISPRS Commission III, Symposium, September 9-13, Graz, Austria, 293-296.

[16] Rottensteiner, F. ve Clode, S., (2009). "Building and Road Extraction By LiDAR and Imagery", Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing. Taylor &Francis Group, 445-478.

[17] Khoshelhama, K., Nardınocchı, C., Frontonı, E., Mancını, A. ve Zıngarettı, P. (2010). "Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65:123-133.

[18] Sithole, G., (2005). "Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data", Ph.D. Thesis, University of Delft, Publications on Geodesy 59, The Netherlands.

[19] Demir, N., (2015). "Görüntü ve LiDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 8 (1): 55-65.

[20] Kim, N. (2011). 2.5D Reconstruction of Building from very High Resolution SAR and Optical Data by Using Object-Oriented Image Analysis Technique. The Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, Master of Science, The Netherlands.

[21] Schenk, T. ve Csatho, B., (2002) "Fusion of Lidar Data and Aerial Imagery for a More Complete Surface Description", ISPRS Commission III, Working Group 5.

[22] Rutzinger, M., Rottensteiner, F. ve Pfeifer, N., (2009). "A comparison of Evaluation Techniques for Building Extraction from Airborne Laser Scanning", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 1:11-20.

[23] Mao, J., Liu, X. ve Zeng, Q., (2009). "Building Extraction by Fusion of LIDAR Data and Aerial Images", IEEE Urban Remote Sensing Joint Event.

[24] Baltsavias, E. P., (1999). "Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:164-198.

[25] Rottensteiner F. ve Briese C., (2002). "A new Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LIDAR Data", IAPSIS XXXIV 3A:295–301.

[26] Külür, S., (2011), “JDF331, Fotogrametri I”, Ders Notu, İstanbul, Türkiye.

[27] GeoLas Consulting, http://www.geolas.com, 3 Haziran 2016.

[28] Carter J., Schmid K., Waters K., Betzhold L., Hadley B., Mataosky R., Halleran J., (2012). “An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications”, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, November 2012, U.S.

[29] Trimble Imaging, eCognition Webinar: Combining Point Clouds with Imagery to Classify Objects, https://www.youtube.com/watch?v=tzH1tbCS0p4&t=645s, 5 Aralık 2018.

[30] Şehzuvaroğlu, M.S., Eker, O., Erdoğan, M. ve Yıldız, F., (2014). “Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Fotogrametri mi, LiDAR mı?”, Harita Dergisi, (151) : 1-9.

[31] Schmid, K., (2008). “An Introduction to LiDAR Technology Data and Applications”, NOAA Coastal Services Center.

[32] Wehr, A. ve Lohr, U., (1999). ”Airbone Laser Scanning- an Introduction and Overview”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:68-82.

[33] Yılmaz, H.M. ve Yakar, M., (2006). “LiDAR Tarama Sistemi”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2006 (2): 23-33.

[34] Yastıklı, N. ve Bayraktar, H., (2015). “Yoğun Görüntü Eşleme Algoritmaları ile Üretilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Kalite Değerlendirme ve Doğruluk Analizi”, Dünya CBS Günü 2015 Zirve Etkinliği, 18-19 Kasım 2015, Ankara.

[35] Çelik, H., Baş, N. ve Coşkun, H.G., (2014). “Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LiDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi”, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4 (1): 117-125.

[36] Yastıklı, N., (2009). “Ortofoto Ders Notları”, YTÜ, İstanbul, Türkiye.

[37] Özbalmumcu, M., (2007). “Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları”, TUFUAB IV.Teknik Sempozyumu, 05-07 Haziran 2007, İstanbul.

[38] Bonisteel, J. M., Nayegandhi, A., Wright, C. W., Brock, J. C. ve Nagle, D., (2009), Experimental Advanced Airborne Research Lidar (EAARL) Data Processing Manual, http://pubs.usgs.gov/of/2009/1078, 15 Ağustos 2018.

[39] Doç. Dr. Bahadır ERGÜN, Sayısal Fotogrametri Ders Notları, http://anibal.gyte.edu.tr/hebe/AblDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf?, Gebze Teknik Üniversitesi, 13 Şubat 2019.

[40] Ameri, B., (2000). Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings from Digital Imagery. Ph.D. Thesis, Stuttgart University, Institute of Photogrammetry, Germany.

[41] Merrill K.R. ve James D.H., (2006). Remote Sensing of Human Settlements Manual of Remote Sensing Third Edition, 5: 747.

[42] Richards, J.A., (1993). “Remote Sensing and Digital Image Analysis”, Springer, Verlag, Berlin.

[43] Gajski, D., Fiedler, T. ve Krtalic, A. (2003). “Classification and Filtering of Airborne Topographic LiDAR Data”, Geoinformation for Practice, 15-18 Ekim 2003, Zagreb, Hırvatistan.

[44] Ural S., (2015). “LiDAR Verisinin İşlenmesi ve LAStools Yazılımı”, BHİKPK Barkok Lidar Çalıştayı, 12 Aralık 2015, Ankara.

[45] Uzar, M. ve Yastıklı, N., (2013). “Automatic Building Extraction Using Lidar And Aerial Photographs”, Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, 19 (2): 153-171.

[46] Marangoz, A.M. (2009). Uydu Görüntülerinden Kentsel Ayrıntıların Nesne-Tabanlı Sınıflandırma Yöntemiyle Belirlenmesi ve CBS Ortamında Bütünleştirilmesi, Yayınlanmış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[47] Acar, U. Ve Bayram, B., (2006). “Bulanık Mantık ile Mammogramlardan Mikrokalsifikasyonların Otomatik Olarak Belirlenmesi”, UZAL-CBS 2006, 27-29 Kasım 2006, İstanbul.

[48] Çölkesen, İ. (2009). Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması ve Analizi, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

[49] Badea, D. ve Jacobsen, K., (2008). “Filtering Process of LiDAR Data”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Part B1, Beijing, 2008.

[50] Sefercik, U. G., Karakış, S., Bayık, Ç., Alkan, M. ve Yastıklı, N., (2014). “Yüksek Çözünürlüklü Optik Uydu Görüntülerinden Otomatik Bina Çıkarımı Performansının Artırılmasına Yönelik Yeni Bir Yaklaşım- Quickbird Örneği”, Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

[51] Milenković, M., (2014). “Application of LiDAR in Forestry”, NEWFOR2014 Summer School, 20-27 Temmuz 2014, İtalya.

[52] Süleymanoğlu, B. ve Soycan, M. (2017). “Hava Lidar Verilerinde Kullanılan Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi”, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.

[53] Erişir, Z., (2015). Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleri ile LiDAR Verilerinin Sınıflandırılması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[54] Definiens, GuidedTour Level 1, Simple Example Of Building Extraction, Classification of Buildings using LiDAR and RGB Data.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Eda SOYLU SENGÖR
Doğum Tarihi ve Yeri	:04.08.1985, Ereğli/KONYA
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:edasyl@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Ereğli Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013 -	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü	Harita Mühendisi
2011 - 2013	Sampaş Bilişim ve İletişim A.Ş.	Harita ve Saha Proje Uygulama Uzmanı
2010 - 2011	Burdur AFAD İl Müdürlüğü	Harita Mühendisi
2010	Sampaş Bilişim ve İletişim A.Ş.	Proje Lideri
2008 - 2009	Netcad Ulusal Cad ve GIS Çözümleri A.Ş.	Teknik Destek ve CBS Uzmanı

YAYINLARI

Bildiri

1. Paşaoğulları O., Güngör H. ve Soylu Sengör E., (2014). "Türkiye Ulusal Coğrafi Veri Portalı (GEOPORTAL)", INTERGEO EURASIA Jeoinformasyon, Arazi Yönetimi, Yapı Endüstrisi ve Çevre Konulu Konferans ve Fuarı, 27-29 Nisan 2014, İstanbul.

2. Paşaoğulları O., Kaçka N., Güngör H., Tabar Y. ve Soylu Sengör E., (2014). "Implementation of Turkey National Geographic Data Portal (GEOPORTAL)", INSPIRE Conference 2014, June 16-20, 2014, Aalborg, Denmark.

3. Bayraktar, H., Bayar, D.Y., Güven, H., Soylu Sengör, E., Kara, B. ve Badem, H., (2018). "Türkiye'de Akıllı Kent Stratejisi Ve Eylem Planının Oluşturulması", VII. UZAL-CBS, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.

Proje

1. Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (2018-2019)

2. INSPIRE Direktifinin Uygulanmasına Yönelik Yatay Sektörde Kapasite Geliştirme İçin Teknik Destek Projesi – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (2016-2018)

3. Kentsel Dönüşüm Alanlarının Belirlenmesi ve Senaryo Afetlerin Oluşturulması için Yerel Yönetimlerin Verilerinin Kullanıldığı Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Otomasyon Sisteminin Oluşturulmasının Araştırılması ve Geliştirilmesi Projesi – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (2014-2016)

4. Türkiye Ulusal Coğrafi Veri Portalı Projesi – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (2013-2015)

5. Akıllı Kent Otomasyon Sistemleri Projeleri – Sampaş Bilişim ve İletişim A.Ş. (2010-2013)

6. Beyoğlu Belediyesi Okmeydanı Kentsel Dönüşüm Projesi (2012-2013)

7. Rize Afet Bilgi Sistemi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi (RABİS) – Netcad Ulusal

CAD ve GIS Çözümleri A.Ş. (2008-2009)

ÖDÜLLERİ

1. YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği 2008 Mezunları Dönem 3.'lüğü