

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI UYGULAMALARINDA ÇOKLU ALGILAMA
SİSTEMİ VERİLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ANALİZİ**

MELİS UZAR DİNLEMEK

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. NACİ YASTIKLI**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI UYGULAMALARINDA ÇOKLU ALGILAMA
SİSTEMİ VERİLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ANALİZİ**

Melis UZAR DİNLEMEK tarafından hazırlanan tez çalışması 13/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Naci YASTIKLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Naci YASTIKLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayhan ALKIŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2010-05-03-DOP01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Doktora tezi danışmanlığımı üstlenerek, çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Naci YASTIKLI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Doktora tez çalışmasının izlenmesi sırasında bilimsel desteklerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ayhan ALKIŞ ve Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince tüm hocalarım ve asistan arkadaşlarımdan bana göstermiş oldukları yardım, hoşgörü ve sabırlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2010-05-03-DOP01 numaralı projesi ile desteklenmesini sağlayan üniversiteme teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Bu çalışmada kullanılan veri setini sağladıkları için Ohio State Üniversitesi, Dr. Charles Toth ve Dr. Dorota Grejner Brzezinska'ya teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan Türkiye Sivas ili veri setini sağladıkları için SEBAT Proje şirketine teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Dursun UZAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen en değerli varlığım annem Nadide UZAR'a teşekkürlerimi bildirmeyi borç bilirim.

Çalışmalarım süresince bana destek olan eşim Tamer DİNLEMEK ve kardeşim Hüsnü Melih UZAR'a teşekkür ederim.

Kasım, 2012

Melis UZAR DİNLEMEK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	7
1.2 Tezin Amacı.....	13
1.3 Hipotez.....	14
BÖLÜM 2	
OBJE ÇIKARIMI TANIM VE YÖNTEMLER.....	16
2.1 Görüntü Analiz Yöntemleri	18
2.1.1 Bilgisayarlı Görüntüleme	19
2.1.1.1 Geometrik–Topolojik Obje Tanımı	20
2.1.1.2 Temel Detay Çıkarım Yöntemleri	22
2.1.1.3 Genel Bilgi Şeklinde Obje Çıkarımı	27
2.1.2 Sayısal Görüntü İşleme Yöntemleri	28
2.1.2.1 Filtreler	29
2.1.2.2 Matematiksel Morfoloji	31
2.1.2.3 Segmentasyon.....	33
2.1.3 Sınıflandırma.....	37
2.1.3.1 Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi	38

2.1.3.2	Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi.....	39
2.1.3.3	Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi.....	40
2.1.3.4	Kural Tabanlı Sınıflandırma	41
2.2	Obje Çıkarımının Özel Hali: Bina Çıkarımı.....	44
2.3	Doğruluk Analizi.....	47
2.3.1	Örnek Alanların Seçimi ve Kappa.....	48
2.3.2	Doğruluk ve Bütünlük Analizi	49
BÖLÜM 3		
ÇOKLU ALGILAMA SİSTEMİ; LiDAR, GPS/IMU ve SAYISAL KAMERA		50
3.1	Çoklu Algılama Sistem Bileşenleri.....	51
3.1.1	LiDAR.....	53
3.1.2	GPS/IMU	54
3.1.3	Sayısal (CCD) Hava Kameraları.....	55
3.2	Çoklu Algılama Sisteminin Ölçme Prensibi	57
3.2.1	Çoklu Algılama Sistemi ile Elde Edilen Veriler	63
3.2.2	Veri İşleme ve Bilgilerin Çıkarılması.....	65
BÖLÜM 4		
OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI.....		68
4.1	Çalışma Alanları ve Kullanılan Veriler	69
4.1.1	Çalışma Alanı 1.....	69
4.1.2	Çalışma Alanı 2.....	71
4.2	Piksel Tabanlı Sınıflandırma	72
4.2.1	KontROLSÜZ Sınıflandırma	72
4.2.2	Kontrollü Sınıflandırma.....	73
4.3	Nesne Tabanlı Sınıflandırma	76
4.3.1	Parametrelerin Tespit Edilmesi	76
4.3.1.1	Segmentasyon Parametre Analizleri.....	76
4.3.1.2	Sınıflandırma Eşik Değeri Parametre Analizleri	83
4.3.1.3	Sınıflandırma Bulanık Mantık Parametre Analizleri	86
4.3.2	Yaklaşım 1: Sadece Sayısal Görüntü Kullanılarak Nesne Tabanlı Sınıflandırma.....	89
4.3.3	Yaklaşım 2: Sadece Sayısal Görüntü Kullanılarak Sayısal Görüntü İşleme Teknikleri Yardımıyla Elde Edilen Ek Görüntüler ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma	93
4.3.4	Yaklaşım 3: Sadece LiDAR Verileri (YM ve intensity) Kullanılarak Nesne Tabanlı Sınıflandırma	99
4.4	Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma	101
4.4.1	Çoklu Algılama Sistemi Veri Seti ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımının Çalışma Alanı (1) için Uygulanması	102
4.4.1.1	Çalışma Alanı (1) için Üretilen Yardımcı Görüntüler	104
4.4.1.2	Yeşil Alan Sınıfının Oluşturulması.....	106
4.4.1.3	Zemin Sınıfının Oluşturulması	108
4.4.1.4	Bina Sınıfının Oluşturulması	109

4.4.2	Çalışma Alanı (1) için Otomatik Çıkarılan Bina Sınıfının Doğruluk Analizi	111
4.4.3	Çoklu Algılama Sistemi Veri Seti ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımının Çalışma Alanı (2) için Uygulanması	113
4.4.3.1	Çalışma Alanı (2) için Üretilen Yardımcı Görüntüler	115
4.4.3.2	Yeşil Alan Sınıfının Oluşturulması.....	117
4.4.3.3	Zemin Sınıfının Oluşturulması	118
4.4.3.4	Bina Sınıfının Oluşturulması	119
4.4.4	Çalışma Alanı (2) için Otomatik Çıkarılan Bina Sınıfının Doğruluk Analizi	122
4.4.5	Otomatik Obje Çıkarımında Önerilen Yaklaşım ile Mevcut Sorunların Çözümü	122
4.4.5.1	Bina Olan Objelerin Eksik ya da Hiç Çıkarılamama Durumu	124
4.4.5.2	Bina ile Bina Görünümlü Objelerin Karışıklığının Giderilmesi....	125
4.4.5.3	Bina ile Yeşil Alan Sınıfı Karışıklıklarının Giderilmesi.....	127
4.4.5.4	Bina ile Zemin Sınıfı Karışıklığının Giderilmesi	128
4.4.5.5	Gölge Problemi.....	128
 BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		130
KAYNAKLAR.....		134
 EK-A		
MATLAB KODLAR		144
A-1 Eğim Analizi Yöntemi ile Eğim Görüntüsü Oluşturma		144
A-2 Hough Dönüşümü ile Hough Görüntüsü Oluşturma		145
A-3 NDVI Yöntemi ile NDVI Görüntüsü Oluşturma		149
ÖZGEÇMİŞ.....		151

SİMGE LİSTESİ

Δz	Eğim farkı
r	Sınıf sayısı
C	Lazer ışının hızı
x_i	Satır toplamı
x_{ii}	Hata matrisinin köşegen elemanları
ΔH	Yükseklik farkı
R	Uzunluk
x_{+i}	Sütun toplamı
N	Hata matrisindeki toplam hücre sayısıdır
f_A	Bulanık küme
μ_A	Üyelik değeri

KISALTMA LİSTESİ

ALS	Airborne Laser Scanning, Airborne Lidar System
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASPRS	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CIR	Color Infrared
DEM	Digital Elevation Model
DN	Digital Number
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
FN	False Negative
FP	False Positive
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measuring Unit
INS	Inertial Navigation System
ISODATA	Iterative Self-Organization Data Analysis
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
LADAR	Laser Detection and Ranging
LiDAR	Light Detecting and Ranging
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near infrared
POS	Positioning and Orientation System
RED	Red Band
RMSE	Root Mean Square Error
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TF	True False
TIN	Triangulated Irregular Network
TP	True Positive
TTA	Training or Test Areas
USGS	United States Geological Survey
WGS84	World Geodetic System of 1984
YM	Sayısal Yüzey Modeli

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Gauss yumuşatma (a), Sobel kenar yakalama(b), Maksimum olmayan tutma yöntemi (c), Kesikli eşikdeğer (d) [92]..... 25
Şekil 2. 2	Hough dönüşümü: Akümülatör 26
Şekil 2. 3	Bir doğrunun normal parametreleri [92] 27
Şekil 2. 4	Dilatasyon işlemi [100]..... 32
Şekil 2. 5	Erozyon işlemi [100]..... 32
Şekil 2. 6	Açma işlemi [100]..... 33
Şekil 2. 7	Kapama işlemi [100]..... 33
Şekil 2. 8	İkonik (a), segment (b) [103]..... 34
Şekil 2. 9	Bulanık mantık ile bina segmentlerinin sınıflandırılması 43
Şekil 2. 10	Bina modelleme işlem adımları [113] 45
Şekil 2. 11	Bina modelleri [110] 46
Şekil 3. 1	LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kameradan oluşan çoklu algılama sistemi [119] 52
Şekil 3. 2	Çoklu algılama sisteminden elde edilmiş görüntü ve nokta bulutu örneği [120] 52
Şekil 3. 3	GPS/IMU sistemi [110]..... 54
Şekil 3. 4	Sayısal hava kameralar:Canon EOD-1D küçük format sayısal frame kamera (Terrapoint) (a), RCD30 Leica orta format sayısal frame kamera(b), Z/I DMC-II Leica geniş format sayısal frame kamera (c) [110]. 57
Şekil 3. 5	Çoklu algılama sisteminin temel bileşenleri ve işletim parametreleri ile çalışma prensibi [110] 58
Şekil 3. 6	Lazer tarayıcı temel ölçme prensibi (Wehr [125]) 59
Şekil 3. 7	Lazer tarayıcı sistemi bileşenleri [126]..... 59
Şekil 3. 8	Lazer sinyalinin bitki örtüsü yüzeyinden yansması (Hug vd. [127]) 60
Şekil 3. 9	Lazer sinyalinin yer yüzeyi üzerinden yansması (Hug vd. [127])..... 61
Şekil 3. 10	Lazer tarama teknolojileri döner ayna, döner poligon, fiber tarayıcı [120] 61
Şekil 3. 11	LiDAR sisteminden elde edilen sadece (X,Y,Z) ile (X,Y,Z,intensity) verisine ait bir örnek [129] 64
Şekil 4. 1	Çalışma Alanı (1) nokta bulutu ve intensity görüntüsü..... 70
Şekil 4. 2	Çalışma Alanı (1) YM ve ortofoto 70
Şekil 4. 3	Çalışma Alanı (2) nokta bulutu ve intensity görüntü 71
Şekil 4. 4	Çalışma Alanı (2) YM ve ortofoto 72
Şekil 4. 5	Sayısal görüntü kullanılarak 5 sınıf için yapılan kontrolsüz sınıflandırma ... 73

Şekil 4. 6	Sayısal görüntü kullanılarak 5 sınıf için yapılan kontrollü sınıflandırma.....	74
Şekil 4. 7	Doğruluk analizi için yeniden kodlama (recode) işlemi yapılmış görüntü ...	74
Şekil 4. 8	Doğruluk analizi için referans veri üzerinde alınan kontrol noktaları.....	75
Şekil 4. 9	Satranç tahtası ölçek 5	78
Şekil 4. 10	Satranç tahtası ölçek 10	78
Şekil 4. 11	Satranç tahtası ölçek 15	78
Şekil 1. 12	Dörtlü ağaç ölçek 25	79
Şekil 4. 13	Dörtlü ağaç ölçek 50	79
Şekil 4. 14	Dörtlü ağaç ölçek 75	79
Şekil 4. 15	Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,5 bütünlük 0,5	80
Şekil 4. 16	Çoklu segmentasyon ölçek 50 şekil 0,5 bütünlük 0,5	81
Şekil 4. 17	Çoklu segmentasyon ölçek 75 şekil 0,5 bütünlük 0,5	81
Şekil 4. 18	Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,9 bütünlük 0,1	82
Şekil 4. 19	Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,1 bütünlük 0,9	82
Şekil 4. 20	Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,4 bütünlük 0,6	83
Şekil 4. 21	Eşik değeri analizi $52 \leq p1 \leq 142$	84
Şekil 4. 22	Eşik değeri analizi $63 \leq p1 \leq 142$	85
Şekil 4. 23	Eşik değeri analizi $73 \leq p1 \leq 142$	85
Şekil 4. 24	Bulanık mantık analiz 1 yaklaşık aralık (About range)	87
Şekil 4. 25	Bulanık mantık analiz 2 tam aralık (Full range)	88
Şekil 4. 26	Bulanık mantık analiz 3 doğrusal aralık (Linear range)	88
Şekil 4. 27	Bulanık mantık analiz 4 yaklaşık Gauss (Approximate Gauss)	89
Şekil 4. 28	Yaklaşım 1:Çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve sınıflandırma sonucu bina sınıfı	90
Şekil 4. 29	Çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma sonucu bina sınıfı	91
Şekil 4. 30	Dörtlü ağaç segmentasyon ve sınıflandırma sonucu bina sınıfı	92
Şekil 4. 31	Dörtlü ağaç segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma sonucu bina sınıfı	93
Şekil 4. 32	Yaklaşım 2 için analiz 1	95
Şekil 4. 33	Yaklaşım 2 için analiz 2	96
Şekil 4. 34	Yaklaşım 2 için analiz 3	97
Şekil 4. 35	Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen görüntü	98
Şekil 4. 36	Yaklaşım 2 için analiz 4	98
Şekil 4. 37	Yaklaşım 3 için analiz 1	100
Şekil 4. 38	Yaklaşım 3 için analiz 2	101
Şekil 4. 39	Otomatik bina çıkarımında genel iş adımları ve hedef sınıflar	103
Şekil 4. 40	Çalışma Alanı (1) için üretilen Eğim görüntüsü	105
Şekil 4. 41	Çalışma Alanı (1) ortofoto (a) ve NDVI görüntüsü (b)	106
Şekil 4. 42	Hough dönüşümü sonucunda üretilen görüntü	106
Şekil 4. 43	Çalışma Alanı (1) için yeşil alan sınıfı iyileştirme adımları	107
Şekil 4. 44	Çalışma Alanı (1) için oluşturulan yeşil alan sınıfı	108
Şekil 4. 45	Çalışma Alanı (1) için kontrast ayırma segmentasyon sonucu	108
Şekil 4. 46	Çalışma Alanı (1) çoklu çözünürlüklü segmentasyon sonucu	109
Şekil 4. 47	Çalışma Alanı (1) için otomatik çıkarılan sınıflandırma sonucu	111
Şekil 4. 48	Çalışma Alanı (1) için otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü	111

Şekil 4. 49	Çalışma Alanı (1) için referans veri (a), otomatik çıkarılan bina verisi (b) .	112
Şekil 4. 50	Çalışma Alanı (2) otomatik bina çıkarımında genel iş adımları ve hedef sınıflar.....	114
Şekil 4. 51	Çalışma Alanı (2) için üretilen Eğim görüntüsü.....	116
Şekil 4. 52	Çalışma Alanı (2)'ye ait ortofo (a), Canny (b) ve bant farkı görüntüsü (c) .	117
Şekil 4. 53	Çalışma Alanı (2) için oluşturulan kontrast farkı segmentasyon sonucu...	118
Şekil 4. 54	Çalışma Alanı (2) için oluşturulan çoklu çözünürlüklü segmentasyon sonucu	119
Şekil 4. 55	Çalışma Alanı (2) için geliştirilen yaklaşım aşamasında oluşan sınıflar.....	120
Şekil 4. 56	Çalışma Alanı (2) için otomatik çıkarılan bina sınıfı	121
Şekil 4. 57	Çalışma Alanı (2) için otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü.....	121
Şekil 4. 58	Referans veri (a) ve otomatik çıkarılan bina verisi (b)	122
Şekil 4. 59	Van 2011 depremi sonucu yıkılan okul binası (a), konteyner (b), geçici kurulan çadırlar(c) ve pazaryerleri (d).....	123
Şekil 4. 60	Çalışma Alanı eksik yakalanan binanın iyileştirilme adımları	124
Şekil 4. 61	Çalışma Alanı bina sınır değerinin iyileştirilmesi: önceki durum (a) ve sonraki durum görüntüsü (b)	124
Şekil 4. 62	Çıkarılamayan bina örneği: bina sınıfında çıkarılamayan bina (a), bina sınırlarının yakalanması (b) ve zemin sınıfına dahil olan bina görüntüsü (c)	125
Şekil 4. 63	Bina görünümlü objelerin yakalanması (a) ve bina sınıfından çıkarılması (b)	125
Şekil 4. 64	Bina olmadığı halde bina olarak algılanan objenin sınıflandırma örneği ..	126
Şekil 4. 65	Yanlış çıkarılan bina avlusu objesinin bina sınıfından çıkarılması: bina sınıfındaki yanlış çıkarılan obje (a) ve bina sınıfından elimine edilme örneği	127
Şekil 4. 66	Bina ile Yeşil alan sınıfı karışıklıklarının giderilmesi örneği.....	127
Şekil 4. 67	Bina sınıfına ait objelerin zemin sınıfı ile karışmış görüntü (a) ve bina ile zemin sınıfı karışıklığının giderilmiş görüntü (b)	128
Şekil 4. 68	Gölgelerin mevcut olduğu görüntü (a) ve gölge sınıfını gösteren görüntü (b)	129

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1 Çalışma Alanı (1) veri bilgileri	70
Çizelge 4. 2 Çalışma Alanı (2) veri bilgileri.....	71
Çizelge 4. 3 Doğruluk analizi	75
Çizelge 4. 4 Segmentasyon için yöntem ve parametre analizi.....	77
Çizelge 4. 5 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon için yöntem ve parametre analizi.....	80
Çizelge 4. 6 Sınıflandırma için eşik değeri analizi.....	84
Çizelge 4. 7 Sınıflandırma için Bulanık Mantık parametre analizi.....	86
Çizelge 4. 8 Sadece sayısal görüntü kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma	90
Çizelge 4. 9 Sadece sayısal görüntü kullanılarak sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek görüntüler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma ve elde edilen doğruluk (Kappa).....	94
Çizelge 4. 10 Sadece LiDAR verileri kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma.....	99
Çizelge 4. 11 Çalışma Alanı (1) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı.....	104
Çizelge 4. 12 Çalışma Alanı (1) için çoklu algılama sisteminden üretilen yardımcı veriler.....	105
Çizelge 4. 13 Doğruluk analizi değerleri.....	112
Çizelge 4. 14 Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı.....	115
Çizelge 4. 15. Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sisteminden üretilen yardımcı veriler.....	116

OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI UYGULAMALARINDA ÇOKLU ALGILAMA SİSTEMİ VERİLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ANALİZİ

Melis UZAR DİNLEMEK

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Naci YASTIKLI

Kent yönetiminde, yapılaşmanın izlenmesi ve mevcut durumun tespit edilmesi kontrol ve karar verme süreçleri için oldukça önemlidir. Kentlerde dönüşüm projelerinin uygulanmaya başlanmasıyla mevcut binalara ait doğru, güncel ve hızlı bina verisi ihtiyacı artmıştır. Özellikle deprem kuşağında yer alan kentlerde klasik ölçme yöntemleri ve fotogrametrik üretim süreçlerine gerek duyulmadan otomatik bina çıkarımı gündeme gelmiştir. Bu çalışmada aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemi ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, otomatik bina çıkarımında kullanılan mevcut yöntemler incelenmiş, yurtdışında ve ülkemizde yapılan ilgili araştırmalara yer verilmiştir. Piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak otomatik bina çıkarımı konusunda yaşanan problemler tespit edilmiştir. Otomatik bina çıkarımında karşılaşılan en yaygın problem, bina sınıfı ile bina sınıfı olmayan (yeşil alan, zemin vb.) sınıfların karışmasıdır. Bu çalışma ile bina sınıfı ile diğer sınıfların karışması probleminin çözümü için sınıflar arasındaki farklılıkların tespit edilip, sınıflandırma sonucunda karışan objelerin ilgili sınıflara atanmasına, iyileştirilmesine dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Sınıflandırma aşamasında yeşil alan, bina sınırı, gölge ve zemin gibi yardımcı sınıflar oluşturularak otomatik olarak çıkarılan bina sınıfının doğruluğunun artırılması sağlanmıştır. Otomatik bina çıkarımı için geliştirilen yaklaşımda, NDVI, eğim, Hough, Canny ve bant farkı görüntüleri gibi yardımcı veriler çoklu algılama sistemi ile toplanan veriler yardımıyla oluşturulmuş ve hedef sınıf olan bina sınıfının

iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Geliştirilen yaklaşım ile kural setleri oluşturulmuş ve oluşturulan kural setleri Amerika Birleşik Devletleri'ne ait Çalışma Alanı (1) ve Ülkemizde Sivas iline ait Çalışma Alanı (2) de test edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile oluşturulan kural setleri kullanılarak Çalışma Alanı (1) ve Çalışma Alanı (2)'de otomatik olarak çıkarılan bina sınıfı için doğruluk analizi yapılmıştır. Sınıflandırma sonucu Çalışma Alanı (1) için bütünlük %96.73 ve doğruluk %95.02, Çalışma (2) için bütünlük %80 ve doğruluk %85 değerleri elde edilmiştir. Çoklu algılama sistemi ile elde edilen Çalışma Alan (1) ve (2) verileri kullanılarak otomatik bina çıkarımında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümü için geliştirilen çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Otomatik bina çıkarımı, LiDAR, çoklu algılama sistemi, kural-tabanlı sınıflandırma, segmentasyon

**THE ANALYSIS OF POSSIBLE USE OF MULTI SENSOR SYSTEM DATA FOR
AUTOMATIC BUILDING EXTRACTION**

Melis UZAR DİNLEMEK

Department of Geomatics Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Naci YASTIKLI

The monitoring of construction activities and determination of current situation is important for control and decision making process of urban management. In cities, the need for accurate, up to date and fast data for building is steadily increased with urban transformation projects. Especially, in cities located within seismic belts, automated building extraction without any requirement for classical measurement methods and photogrammetric production processes has become an important subject. In this study, automatic building extraction possibilities are investigated with multi sensor system which are consist of LiDAR (Light Detection and Ranging), GPS/IMU and digital camera positioned on the same platform using object-oriented rule-based classification method. For this purpose, current methods used for automatic building extraction are investigated and international and national applications are examined. The problems in automatic building extraction are mentioned using pixel based and object based classification methods. The common problem in automatic building extraction is misclassification of building and other objects (vegetation, ground etc.). In this study, the approach is developed based on the determination of the differences between building and other classes than improvement of the classification using these differences. The accuracy of the classification is improved with creating additional class including vegetation, building border, shadow and ground during the classification process. Digital Surface Model (DSM), orthophoto and intensity image were produced

with the help of multi sensing system data (3D point cloud, intensity and aerial photographs). The additional data including Hough, Canny and band ratio images were produced with the help of the data comes from multi sensor system and utilized for improvement of the targeted building class. The rule set were created with developed approach and tested at two study area in USA and Sivas Turkey. The accuracy assessment of the automatically extracted building class in study area (1) and (2) was performed using created rule set with developed approach.

The obtained accuracy for the automatic building extraction was 96.73% for completeness and 95.02% for accuracy for study area (1) and 80% for completeness and 85% for accuracy for study area (2). The faced problems during automatic building extraction process were stated and the suggestions for the solving faced problems were presented.

Key words: Automatic building extraction, LiDAR, multi sensor system, rule-based classification, segmentation

BÖLÜM 1

GİRİŞ

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

Objelerin bilgisayar üzerinde nasıl tanımlanabileceği, görüntüdeki objelerin ne şekilde temsil edileceği, objelerin konum ve dönüklüklerini dikkate alarak nasıl çıkarılacağı önemlidir (Vosselman vd. [1]). 1950'li yılların sonlarında bilgisayarlı görüntüleme ile ilgili ilk çalışmalar incelendiğinde yapay zeka, bulanık mantık, bilgisayarlı grafikler (teknik çizimler) ve görüntü işleme gibi bir çok farklı alan ortaya çıkmıştır (Ballard ve Brown [2]). Bilgisayarlı görüntüleme tekniklerinin gelişmesi, hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin içeriklerinin anlaşılması, otomatik haritalama için gerekli alt yapının oluşturulmasında, görüntü eşleme ve obje çıkarımı konularında önemli gelişmeler için temel oluşturmaktadır.

Bina, yol, yeşil alan vb. objelerin otomatik çıkarımı, fotogrametri ve bilgisayar görüntüleme çalışma gruplarının önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Sayısal

görüntülerden obje çıkarımı ve bilgisayar üzerinde bu bilgilerin temsil edilmesi, sınıflandırılması fotogrametrinin çalışma alanına girmektedir. Ülkemizde, obje çıkarımı konusunda; kentsel gelişim için açık alanların belirlenmesi (Maktav vd. [3], Kalkan [4]), çizgisel detayların çıkarımı (Eker [5], Eker ve Şeker [6]), yol bilgisi çıkartma (Çelik [7]), kentsel ayrıntıların çıkarım analizi (Marangoz [8]) ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda otomatik bina çıkarımının (Haala ve Brenner [9], Mao vd. [10], Wegner vd. [11], Benz vd. [12]) yaygın bir çalışma konusu olduğu görülmektedir. Yol çıkarımı (Heipke [13]; Haala ve Brenner [9], Rottensteiner ve Clode [14]) ise obje çıkarımında diğer önemli bir çalışma konusudur. Ayrıca, ormanlık alanların tespiti (Kraus [15]), köprü detaylarının belirlenmesi (Elberink [16], Sithole ve Vosselman [17]), otobandaki araçların yakalanması (Yao vd. [18]) gibi farklı amaçlar içeren çalışmalarda mevcuttur.

Otomatik bina çıkarımında, kenarların yakalanması, sınırların belirlenmesi basit bir yaklaşım ile çözümlenecekmiş gibi görünse de, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi ise, görüntüdeki bina ve bina olmayan objelerin birbirlerine karışmasından kaynaklanmaktadır. Bu sınıf karışıklığı, hatalı bilgilerin elde edilmesine neden olmaktadır. Bu problemin çözümünde, nokta, kenar ve bölgelerin anlamlı şekilde gruplanması ve uygun formda temsil edilmesi için görüntü analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler bilgisayarlı görüntüleme ve sayısal görüntü işleme tekniklerinin gelişmesi ile daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Otomatik bina çıkarımında kullanılan bu farklı yaklaşımlara örnek olarak temel obje primitifleri (nokta, çizgi, yüzey vb.) ile detay çıkarımı verilebileceği gibi, Canny, Hough Dönüşümü vb., geometrik kenar çıkarım algoritmaları da verilmektedir. Ayrıca, matematiksel morfolojik operatörler (erozyon, dilatasyon, açma, kapama) ve filtreler (yumuşatma, inceltme, genişletme vb.) kullanılarak farklı çözümlerde üretilmektedir. Segmentasyon ve sınıflandırma (nokta, piksel, nesne tabanlı vb.) yöntemleri de otomatik bina çıkarımında yaygın olarak tercih edilen yaklaşımlardandır.

Otomatik obje çıkarımında tercih edilen algılama sistemleri sayısal kameralar, uydu görüntüleri ve LiDAR (Light Detection and Ranging) şeklinde sıralanabilir. Teknolojik gelişmeler ışığında yeni algılama sistemlerinin üretilmesi; farklı veriler ile çalışma imkanı, mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ve yeni yaklaşımların ortaya çıkmasını

sağlamıştır. Fotogrametride sayısal hava kameralarının gelişimi ile sağladığı yüksek (radyometrik) çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntüler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bina çıkarımında sadece hava fotoğrafları kullanıldığında gölge, boşluk ve zayıf kontrast değerleri gibi problemler ortaya çıkmaktadır (Rottensteiner vd. [19]). Ayrıca, sayısal renkli görüntülerde, bina olmayan objelerin bina olarak çıkarıldığı gözlenmiştir. Sadece bu veriler ile çalışıldığında, yükseklik verisinin de olmaması, sadece 2 boyut ile çalışma dezavantajı objelerin birbirleri ile karışmasına sebep olmaktadır. Bu sınıf karışması da objelerin yanlış temsil edilmesine yol açmaktadır. Sadece sayısal görüntü kullanıldığında mevcut sorunların giderilmesi için yeni teknolojilerden de yararlanılmaktadır. Bu aşamada sayısal hava kameraları teknolojisindeki gelişime paralel olarak lazer tarama teknolojisi olan LiDAR kullanılmaya başlanmış ve LiDAR ile elde edilen nokta bulutu verisi ve yoğunluk verisi ile araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Baltsavias [20] ve Ackermann [21], LiDAR sistemi ile klasik fotogrametrik veri üretim sistemini karşılaştırarak, LiDAR sisteminin önemini vurgulamışlardır. Bu sistemin sunduğu yenilikler ve diğer klasik yöntemlere göre sağladığı hız, yüksek doğruluk, etkin maliyet vb. avantajlar uzaktan algılama da ormanlık alanların çıkarımı (Kraus [15]), SYM üretimi (Lohr [22]), köprü çıkarımı (Sithole ve Vosselman [17]) ve bina çıkarımı (Benz vd. [12]) gibi birçok uygulamada kullanılarak tercih sebebi olmuştur. Bu yeni teknoloji ile birlikte çevresel ve ekolojik değişiklikleri izleme (Drake [23]), 3B kent modelleri, kentsel planlama ve gelişme (Haala ve Brenner [9]), (Maas ve Vosselman [24]) ve afet yönetimi (Cobby vd. [25], Steinle vd. [26]) gibi konularda yapılan araştırmalar hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

LiDAR lazer tarama teknolojileri geliştikçe, ilk aşama da yer yüzeyini otomatik yakalamak için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu teknolojinin ham verisi nokta bulutu olduğundan yapılan belli başlı çalışmaların başında nokta bulutunun işlenmesi yer almaktadır. Nokta bulutu verisinin ön işleme adımı ise filtreleme olarak ele alınmaktadır. Bu şekilde LiDAR verisi filtreleme teknikleri ile yer yüzeyi ve insan yapımı objelerden ayırt etme imkanı sağlamaktadır. Sithole [27] de obje çıkarımı konusunda LiDAR verisi olan ham nokta bulutu kullanılarak filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma işlemlerini içeren bir çalışma ile ışık tutmuştur. Bu aşamada yapılan araştırmalar yer yüzeyi ve yer yüzeyi olmayan objeler şeklinde noktaların

sınıflandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Yüksek doğruluklu nokta bulutu lazer verisinde özellikle bina, kıyı alanı, bitki örtüsü gibi detay çıkarımı için önemlidir. Fakat çok yüksek yoğunluk ise verinin işlenmesinde problem çıkarmaktadır. Bu durum veri işleme hızını çok yavaşlattığı gibi, çok fazla lazer ışını yansıma değeri ile gürültü ve istenmeyen detay problemi ortaya çıkarır. Bu sebeple, son yıllarda yapılan araştırmalarda nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi tercih edilerek, nokta tabanlı analizden kaynaklanan hatalar elemine edilmeye çalışılmıştır (Dash vd. [28]).

Sadece LiDAR verisi ile yapılan çalışmalarda, nokta bulutu verisinin yoğunluğundan kaynaklanan gürültü ve çok fazla bilgi yüklü olması, veri işleme açısından zaman kaybına yol açmaktadır. Lazer ışığının saçılması ile oluşan yanlış veya eksik veri elde edilmesi de obje çıkarımının doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca aynı yüksekliğe sahip olan bina ve ağaçların birbirleriyle karışması kaçınılmazdır. Yeni LiDAR sistemlerinde, mevcut olan yoğunluk (intensity) verisi ile farklı yoğunlukların birbirinden ayrılmasında yeşil alan, ormanlık alan, farklı bitki örtüsü ve ağaç çıkarımında (Korpela vd. [29]), buzul yüzeylerdeki buz, kar (Höfle vd. [30]) vb. objelerin çıkarımında başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Aynı yükseklik ve farklı yoğunluk değerine sahip olan su ve yol gibi objelerin ayırımında kısmen sorun ortadan kalksa bile tam bir çözüme ulaşmak oldukça zordur. Bunun yanı sıra yoğunluk verisi, renkli görüntülere göre net olmayan, sağlıklı ve güvenilir olmayan bilgi aktarmaktadır (Habib [31]). Bu problemler dikkate alındığında otomatik obje çıkarımı için kullanılan lazer tarama teknolojisi farklı yöntemler kullanıldığında bile tek başına yeterli olmamaktadır. Yapılan araştırmalarda, LiDAR nokta bulutu verisinin obje çıkarımında yaşanan sorunların giderilmesi için LiDAR verilerinin yanında fotogrametrik yöntem ile elde edilmiş hava fotoğrafları, uydu görüntüleri gibi farklı zamanlarda elde edilmiş alternatif raster veriler kullanılmaya başlanmıştır (Mao vd. [10], Garcia vd.[32]).

Otomatik obje çıkarımında, LiDAR ve sayısal kamera gibi tekli algılama sistemlerinden elde edilen veriler ile yapılan çalışmalarda, karşılaşılan problemlerin ortadan kaldırılması için farklı algılama sistemleri ile elde edilen verilerin entegrasyonu (fusion) uygun bir çözüm yolu olarak gündeme gelmiştir. LiDAR verileri ile hava fotoğrafları ya da uydu görüntülerinin birlikte kullanılması otomatik bina çıkarımı için alternatif olarak önerilmektedir (Sohn ve Dowman [33]). LiDAR verileri ve hava fotoğrafları ile bina

çıkarmı Kabolizade vd. [34] tarafından önerilirken, Haala ve Brenner [9], LiDAR verileri ve çok bantlı görüntüleri kullanarak bina ve ağaç çıkarmı ile üzerine çalışmışlardır. Bu önerilerin yanında, Elberink [16], LiDAR verileri ve topografik haritaların kullanımı ile yol ve bina çıkarmı konusunda çalışmasıyla katkıda bulunmuştur. Rottensteiner vd. [35] de LiDAR verileri ile çoklu spektral görüntülerin birlikte kullanımı ile bina çıkarmı üzerine çalışmalar gerçekleştirerek veri entegrasyonunu desteklemişlerdir. Veri entegrasyonu ile sınıflandırma doğruluğu yüksek obje sınıfları elde etme imkanı sağlamıştır (Rottensteiner vd. [19], Zhoua vd. [36], [37]). Fakat veri entegrasyonunda kullanılan verilerin farklı platformlardan elde edilmesi sebebiyle zaman, çözünürlük vb. faktörlerden kaynaklanan hatalar, sınıflandırma doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir.

LiDAR ve sayısal kameradan elde edilen verilerin beraber kullanımı, otomatik obje çıkarmındaki sorunların çözümünde filtreleme, segmentasyon ve sınıflandırma gibi mevcut yöntemler kullanılarak, Dempster-Shafer metodu (Rottensteiner ve Clode [14], [37]) gibi farklı yaklaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Filtreleme ile istenmeyen ölçülerin ortadan kaldırılması ve yer yüzeyi ile yer yüzeyi olmayan kısmın ayrılma işlemi gerçekleştirilmektedir (Vosselman [38]). Yer yüzeyinin üzerindeki bina ve ağaçların birbirinden ayrılması için ise morfolojik filtreler veya farklı tekniklerin kullanılması gereklidir (Sithole [27]). Segmentasyon işleminde farklı geometrik, radyometrik veya doku özelliklerine sahip objelerin bu özelliklerini temsil eden nokta bulutuna göre ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Schenk [39]). Sınıflandırma aşamasında objeler bina, yol, ağaç gibi hedef sınıflara göre farklı gruplar altında toplanmaktadır (Hu [40]). Veri entegrasyonu ile otomatik obje çıkarmında, nokta tabanlı yöntemlerin yanında piksel tabanlı yöntemlerde yerini almaya başlamıştır. Son yıllarda, nesne tabanlı görüntü analizi yöntemi ile elde edilen sonuçların klasik piksel tabanlı yöntemlere göre daha yüksek doğruluk elde edilmesiyle, otomatik obje çıkarmında nesneye yönelik sınıflandırma tercih edilmeye başlanmıştır (Navulur [41]). Bu gelişmeler nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma kullanılarak farklı yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fakat farklı zamanlarda, farklı platformlardan elde edilen verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki negatif etkileri kaçınılmazdır. Bu durum bütünleşik veri kullanımı ile tek bir algılama sisteminde

karşılaşılan sorunların eleme edilmesi için çözüm arayışına yöneltmiştir. Aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, GPS ve sayısal kameradan oluşan bütünleşik sistem “Çoklu Algılama Sistemi” şeklinde adlandırılmaktadır. Bu yeni sistem ile elde edilen verilerin kullanımı otomatik obje çıkarımında yaşanan sorunların çözümünü ve hedef sınıfların doğruluğunun artırılmasını amaçlamaktadır [42]. Çoklu algılama sistemi özellikle obje çıkarımı konusunda diğer tekli algılama sistemlerinden kaynaklanan dezavantajları ortadan kaldırabilme imkanı vermekte ve veri entegrasyonundan kaynaklanan (zaman ve farklı çözünürlük) hataların giderilmesinde önemli rol almaktadır. ISPRS WG III/4 tarafından çoklu algılama sistemi ile elde edilen LiDAR verisi ve yüksek çözünürlüklü görüntüden oluşan test veri seti ile “ISPRS test project on Complex Scene Analysis and 3D Reconstruction” isimli proje düzenlenmiştir. Bu projenin sonuçları, 24 Ağustos - 3 Eylül 2012 tarihinde gerçekleştirilen ISPRS kongresinde sunulmuştur. Düzenlenen bu proje aynı zamanda çoklu algılama sistemi verilerini kullanarak otomatik obje çıkarımı konusunun önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu sistem kullanılarak elde edilen veriler, otomatik ve yarı otomatik obje yakalama yöntemlerinin gelişmesini ihtiyaç kılmıştır (Baltsavias [20], Rottensteiner vd., [43], Lafarge vd., [44]).

Bu çalışmada otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Bu araştırmada piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak otomatik bina çıkarımı konusunda yaşanan problemler tespit edilmiş ve sınıflandırma sonuçları irdelenmiştir. Otomatik bina çıkarımı için tek bir algılama sisteminden elde edilen verilerin kullanılması yerine, çoklu algılama sistem verilerinin kullanımı önerilmektedir. Çoklu algılama sistemi avantajlarını kullanarak, nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile sınıf karışıklığı, gürültü, gölge vb. mevcut sorunların çözümü amaçlanmıştır. LiDAR ve sayısal kameradan elde edilen verilerden yararlanılarak yardımcı görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler özellikle bina sınıfının iyileştirilmesi amaçlı kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, Amerika ve Türkiye’deki farklı çalışma alanında test edilmiş ve bina sınıfının doğruluk analizi yapılmıştır. Geliştirilen bu yaklaşım ile güncel mekansal veriye gereksinim duyan ve deprem kuşağında olan ülkemizde, doğruluğu yüksek, hızlı, ekonomik ve güncellenebilir veriler temel alınarak kent ve afet yönetiminde ihtiyaç duyulan bina,

yeşil alan vb. obje sınıfların otomatik çıkarımı için örnek model oluşturmak öngörüsü ile yapılmıştır.

Bu çalışma 5 bölüm içermektedir. Birinci bölüm olan giriş kısmında, otomatik obje çıkarımı ihtiyacı, kullanım olanakları, tekli algılama sistemleri ve karşılaşılan problemler belirtilmiştir. Giriş bölümünün alt başlığı olan literatür özeti ile otomatik bina çıkarımında kullanılan yöntemlere referans verilerek, yurtdışında ve ülkemizde yapılan ilgili araştırmalara yer verilmiştir. Bu aşamada, önerilen yaklaşımın hangi yöntemlerden esinlenilerek geliştirildiği vurgulanmıştır. Ayrıca, tezin amacı ve hipotez alt başlığında ise problem tanımlanmış, geliştirilen yaklaşım ile nasıl bir çözüm öngörüldüğü anlatılmıştır. İkinci bölümde, obje çıkarımı tanım ve kavramı, obje çıkarımında kullanılan yöntemler ve teknik yaklaşımların detayları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, Çoklu algılama sistemi bileşenleri, ölçme prensibi ve elde edilen veriler belirtilmiştir. Dördüncü bölümde, piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak tekli algılama sistem verileri ile otomatik obje çıkarım olanakları irdelenmiştir. Bu analizler sonucunda geliştirilen yaklaşımın detayları verilmiştir. Her iki çalışma alanı için çoklu algılama sistemi ile elde edilen veri setinin özellikleri, uygulanan nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yönteminin detayları, önerilen yaklaşımın işlem adımları verilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar farklı iki çalışma alanı için değerlendirilmiş, sınıflandırma sonucu için genel doğruluk, otomatik çıkarılan bina sınıfı için ise bütünlük ve doğruluk analizleri yapılmıştır. Son bölüm olan beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler kısmı ile çalışma tamamlanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Farklı algılama sistemi kullanılarak elde edilen veriler, otomatik ve yarı otomatik obje yakalama yöntemlerinin gelişmesini ihtiyaç kılmıştır [20], [45], [46]. LiDAR verisinin ön plana çıkması ile yapılan çalışmalar arttıkça, yöntemlerde gelişmeye başlamıştır. İlk obje çıkarımı uygulamalarında nokta bulutu ve nokta tabanlı işleme yöntemleri kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum teknolojinin gelişmesiyle, LiDAR verisinin yanında yoğunluk verisinin de elde edilebilir kılmıştır. Böylece nokta bulutu ile yapılan çalışmalardaki, gürültü, detay fazlalığı, yanlış nokta temsili gibi sorunlar yoğunluk verisi yardımıyla kısmen ortadan kalkmaya başlamıştır. Zamanla LiDAR teknolojisinin tek

başına yeterli olmadığı ve fotogrametrik yöntem veya uzaktan algılama ile elde edilen görüntüler ile desteklendiğinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği kabul edilmiştir. Mayer [47], Baltasavias [20], Vosselman ve Maas [24], Rottensteiner ve Breise. [48], Rottensteiner ve Clode [14] çalışmalarında LiDAR teknolojisinin renkli görüntüler ile desteklenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, bilim adamları ASPRS, ISPRS vb. konferanslarda ve yayınlarda klasik fotogrametrik yöntem ile LiDAR teknolojisini karşılaştırıp, bu dönemin geçiş dönemi olduğunu ve yaptıkları uygulamalar ile mevcut sorunların çözümünde alternatif olarak önermişlerdir. Külür tarafından [49] da verilen çalışmada, her iki veri elde etme yöntemi karşılaştırıldığı zaman yöntemlerin birbirlerini çok iyi bir biçimde tamamlayacakları, birbirleri ile entegre oldukları zaman etkili ve yönlü bir veri elde etme yöntemi oluşturacağını belirtmiştir. Bu gelişmeler ile LiDAR verisi ile görüntüler beraber kullanılmaya başlanmıştır. Fakat burada önemli bir sorun ise obje çıkarımının farklı zamanlarda elde edilen verilerden elde edilmesidir. Bu şekilde mevsim değişikliklerinden, araç, insan, gölge gibi iki verinin birbiri ile olan bütünü olmaması bina, yeşil alan, yol ve orman gibi objelerin çıkarımına farklı bir sorun yaratmıştır. Bu gibi olumsuz etkiler sebebi ile bu iki sistemden elde edilen veri entegrasyonunun sağladığı olanaklar tam olarak test edilememiştir.

Otomatik obje çıkarımında yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı görüntü analiz yöntemleri kullanıldığı gözlenmiştir. Bu yöntemler bilgisayar görüntüleme, sayısal görüntü işleme ve sınıflandırma başta olmak üzere basit filtreleme algoritmaları olabileceği gibi bazen de karmaşık kural setlerinin işlenmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Haala ve Brenner tarafından [9] da obje çıkarımında, LiDAR verileri ve multi-spektral görüntüler kullanılarak ISO data sınıflandırma yöntemi ile çıkarılmasını önermiştir. Sohn ve Downman tarafından [33] da yüzey ve bölgeler üzerinde çalışmalar gerçekleştirdiler. Morfolojik filtrelerin kullanımı ise Kilian [50], Vosselman [51], Morgan ve Tempfli [52], Lohman [53], Wack ve Wimmer [54] çalışmalarında göze çarpmaktadır. Peng [55] de eğim tabanlı çalışmasını çoklu filtreleme yöntemi ile desteklemiştir. Hoffmann [56] da LiDAR veri ile topografik haritaların beraber kullanarak, obje segmentasyonu yöntemi ile ön plana çıkmıştır. Vosselman [51] de morfolojik filtrenin yanı sıra eğim tabanlı filtreleme yöntemini de birçok çalışmada kullanmıştır. Sithole [27] de LiDAR nokta bulutu verisini kullanarak segmentasyon yöntemi ile obje çıkarımı

konusunda farklı bir bakış açısı getirmiştir. Sithole tarafından [27] de verilen çalışmada, segmentasyon ve sınıflandırma yöntemleri ile köprülerin çıkarımı konusunu işlemiştir. Bu çalışmada, insan yapımı objeler ile doğal objelerin ayrılması, yer yüzeyi ile yeşil alanların ayrılması için segmentasyon yöntemi kullanmıştır. Bu yöntem ile objeleri farklı gruplara göre yakalamış ve sınıflandırma işlemi ile de obje çıkarımını gerçekleştirmiştir. Bu aşamada karşılaşılan sorun aynı özellik değerine sahip, farklı objelerin tek sınıf altında toplanmasıdır. Nokta tabanlı çalışılmasının dezavantajı olarak bu sorun doğruluk değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışmada farklı segmentasyon yöntemleri ve analizleri değerlendirilmiş ve geliştirilen yaklaşım için köprü çıkarımı konusunda özellikle obje yakalamada kullanılan algoritmalar ve oluşturulan model incelenmiştir.

Otomatik bina çıkarımında kullanılan görüntü analiz yöntemlerinde, bir yöntemin uygulanması tek başına çözüm getirmediği durumlarda birden çok yöntemin kullanılması ile kurallar geliştirilerek objeler sınıflandırılmaktadır. Bina sınıfının diğer sınıflar ile karışması en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Bu sorunun çözümü için, Hough dönüşümü (Hough [57], Tarsha-Kurdi vd. [58]), Eğim analiz yöntemi (Zevenbergen ve Thorne [59]), Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) yöntemi (Rottensteiner vd. [19] Demir vd. [60], Awrangjeb vd. [61]), Snake metodu (Kabolizade vd. [34], Peng vd. [55]) vb. yöntemler tek başına kullanılmıştır. Ayrıca, tek başına kullanılan yöntemlerin dışında, Dempster-Shafer metodu (Rottensteiner ve Clode [14], [37]) gibi kurallara dayalı farklı yaklaşımlardan oluşan yöntemler ile de çözüm gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Rottensteiner ve Breise tarafından [48] de yapılan çalışmada LiDAR verisini kullanarak kural tabanlı yöntem üzerine yoğunlaşmıştır. Matikainen [62] da LiDAR yükseklik ve yoğunluk verisi üzerine kural setleri geliştirme üzerine çalışmıştır.

Bu yöntemlere ek olarak, ISO DATA (Richards [63], Haala ve Brenner [9]) ve K means algoritması gibi farklı sınıflandırma yöntemleri de bina ve diğer sınıfların karışıklıklarını gidermek için kullanılan yöntemlerdendir. Bina sınıflarının iyileştirilmesi konusunda Yong ve Huayi [64], Matikainen [62], Kabolizade vd. [34], Blaschke [65], ve Pakzad vd. [66] tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

Son yıllarda yapılan araştırmalarda, otomatik obje çıkarımında çok bantlı görüntüler (Haala ve Brenner [9], LiDAR sisteminden elde edilen nokta bulutu (Mass ve Vosselman [24], Sithole [27]) ve bu verilerin kombinasyonu (Rottensteiner vd. [35], Elberink [16], Elberink ve Vosselman [67]) kullanılmaktadır. Ayrıca LiDAR sisteminden elde edilen yoğunluk (intensity) görüntüsü Baltsavias [9], Schenk ve Csatho [68], Habib [31] tarafından yapılan çalışmalarda sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesi için kullanılmıştır. El-Ashmawy vd. [69] da LiDAR yoğunluk verisi ile piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemlerini karşılaştırmış ve test etmiştir. LiDAR verilerinin kullanılabilirliği arttıkça yöntemlerin karşılaştırılması ile yapılan yayınlarda gündeme gelmeye başlamıştır. Rutzinger vd. [70] de LiDAR verilerinden bina çıkarımı konusu ile yapmış olduğu piksel ve nesne tabanlı analiz yöntemlerinin karşılaştırılması ile ilgili çalışmıştır. Mao vd. [10] da LiDAR ve sayısal kameranın aynı platformdan elde edilen LiDAR nokta bulutu ve CCD görüntülerini, filtreleme yöntemi ile bina sınırlarının çıkarımı amaçlı kullanmıştır. Rottensteiner vd. [43] de farklı zamanlarda elde edilmiş LiDAR ve sayısal görüntüleri kullanarak, bina çıkarımı için Dempster Shafer teorisini geliştirmişlerdir. Beger vd. [71] de nesne tabanlı görüntü analiz yöntemini yüksek çözünürlüklü görüntüler ve LiDAR verilerinin entegrasyonu ile otomatik demiryolu orta çizgilerinin çıkarımında kullanmışlardır. Awrangjeb vd. [61] LiDAR veri ve multi-spektral görüntü kullanarak yaptıkları bir çalışmada, piksel tabanlı yöntem ile elde edilen bütünlük analizi sonucunu (%78), nesne tabanlı yöntemin sonucunu ise (%97) olarak rapor etmişlerdir. Bu iki yöntemin karşılaştırılması ile yapılan birçok çalışma mevcuttur ve bu çalışmalardan bir diğeri ise Gao tarafından [72] de verilen ASTER ve Landsat görüntülerini piksel tabanlı ve nesne tabanlı görüntü analiz yöntem ile karşılaştırarak doğruluklarını değerlendirmiştir. Ayrıca, çalışmasında bulanık mantık yöntemini kullanarak sınıflandırma sonuçlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

Nesne tabanlı analiz yönteminde spektral bilgiler ve objeye ilişkin doku, şekil ve komşuluk ilişkisi gibi parametreler birlikte kullanılır. Navulur [41] yaptığı araştırmalarda nesne tabanlı analiz yöntemin ile elde edilen doğruluğun, piksel tabanlı yöntemlere göre daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Bu durum dünyada olduğu gibi ülkemizde de yapılan çalışmalar incelendiğinde nesne tabanlı analiz yönteminin yaygınlaşmaya başladığı gözlenmiştir. Proje yürütücülüğünü Prof. Dr. Derya Maktav tarafından

gerçekleştirilen TÜBİTAK ve Alman Milli Eğitim Bakanlığı arasında Inten-C corporation projeleri kapsamında başlatılan “Gaining Additional Urban Spaces (GAUS), Detection and valuation of potential areas for inner urban development with remote sensing and GIS (2009-2012)”, isimli TÜBİTAK proje örnek olarak verilebilir. Bu proje ile uydu görüntülerinden yararlanılarak nesne tabanlı sınıflandırma ile transfer edilebilir yarı otomatik kural dizisi geliştirilmesi ve çok kriterli mekansal karar destek sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışılmaktadır. Maktav vd. tarafından [3] de verilen çalışmada İstanbul ve Berlin bölgesine ait IKONOS ve QuickBird görüntülerini kullanarak, nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi ile kentsel alanlar için çoklu kriterli mekansal destek sistemi (Multi-criteria Spatial Decision Support System for Valuation of Open Spaces for Urban Planning) üzerine çalışmışlardır. Kalkan [4] de kentsel gelişim için potansiyel açık alanların belirlenmesinde nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile transfer edilebilir kural dizisi oluşturulması konusunda çalışma yapmıştır. Kalkan ve Maktav [73] de yüksek mekansal çözünürlüklü IKONOS görüntüsü kullanarak piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmışlar, genel sınıflandırma doğruluklarını ise piksel tabanlı için %92.91, nesne tabanlı için ise %98.39 gibi birbirine yakın, yüksek doğruluklu sonuçlar verdiğini belirtmiş ve arazi kullanımının belirlenmesinde nesne tabanlı yaklaşımın hızlı ve birbirlerine LiDAR vb. uzaktan algılama verileri ile entegre bir şekilde çalışılmasının daha verimli sonuçlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Avcı [74] de verilen çalışmada tarımsal haritalamada orta çözünürlüklü uydu verileri ile nesne-tabanlı görüntü analizini ve hazırlanan işlemin başarısını değerlendirmiştir. Marangoz tarafından [8] de verilen çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile piksel tabanlı sınıflandırma yöntemini karşılaştırmış ve Zonguldak bölgesine ait uydu görüntülerinden kullanarak çıkan sonuçları değerlendirmiştir. Eker [6] da hava fotoğraflarından yarı otomatik olarak çizgisel detayların belirlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Eker ve Şeker tarafından [5] de verilen çalışmada dijital hava fotoğraflarından çizgisel ve alansal detayların sınırlarının ve merkez hatlarının yarı otomatik olarak belirlenmesini sağlayan bir yöntem ve bu yöntemin uygulamaya konmasına yönelik bir yazılım geliştirmişlerdir.

Ülkemizde henüz LiDAR verisi ile yapılan bir çalışma olmadığından LiDAR ile otomatik obje çıkarımı konusunda yabancı kaynaklar incelenmiştir. Tharsha-Kurdi [46] da LiDAR

ilk ve son sinyal verilerinin farklarını kullanarak, topografik ilişkiler ile çatıların çıkarılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Elberink tarafından [16] da verilen çalışmada, LiDAR verilerinin yanında topografik haritalar ile otomatik bina ve yol çıkarımı üzerine çalışmıştır. Elberink, segmentasyon yöntemini, Sithole [27] de verilen çalışmadaki gibi hedef objeleri yakalamanın yanı sıra, ufak objeleri yok etmek için de kullanmıştır. Ayrıca, nokta bulutu ile çalışarak nokta tabanlı segmentasyonu büyüklük ve yumuşaklık parametreleri gibi değerler ile tanımlamış ve farklı bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma aynı zamanda yüzey büyüme segmentasyonu olarak adlandırılmış ve Vosselman vd. [1] de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Vosselman [51], Zhang vd. [75], Sithole [27], Zeng [76], Sampath ve Shan [77] çalışmalarında, LiDAR nokta bulutu verisinden yer yüzeyi olmayan objeleri ayırmak, yakalamak için farklı eğim tabanlı filtreler uygulamışlardır. Rottensteiner vd. [37], Rottensteiner ve Clode [14] ve Khoshelham vd. [78] de ise yer yüzeyi olmayan objelerin yakalanması için Sayısal Yüzey Modelinden (DSM), Sayısal Arazi Modelinin (DTM) çıkarımı ile elde edilen Normalize Sayısal Yüzey Modeli (nDSM) kullanmışlardır. Kim [79] da verilen çalışmada SAR görüntülerinden bilgi çıkarımı konusunda çalışma gerçekleştirerek, nesne tabanlı görüntü analiz yönteminde sadece uydu görüntülerinde değil SAR görüntülerinde de başarı sağladığını belirtmiştir. Ayrıca, bu çalışmada LiDAR yükseklik verilerini kullanarak kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile bina çıkarımını gerçekleştirmiştir.

Yapılan bu literatür araştırmasında, otomatik obje çıkarımında yaygın kullanılan algılama sistemlerinden; sayısal hava kameraları, uydular ve LiDAR lazer tarama teknolojileri ile elde edilen veriler (sayısal görüntüler, uydu görüntüleri ve nokta bulutu) kullanılarak yapılan çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda, sadece tekli algılama sistemi ile elde edilen veriler ve bu verilerin bütünleşik (fusion) kullanımı ile yapılan çalışmalardaki problemler ve çözüm yöntemleri incelenmiştir. Tekli algılama sistem verilerinden kaynaklanan problemlerin çözülmesi için çoklu algılama sistem verileri ile çalışılmıştır. Ayrıca, bu çalışmalarda kullanılan yöntemler incelenmiş, sonuç ve öneriler dikkate alınmıştır. Kural setinin geliştirilmesi aşamasında ise mevcut yöntemler farklı

algoritma ile kurallar ile tanımlanmış ve bu kurallar otomatik çıkarılan bina sınıflarının doğruluğunun iyileştirilmesi için kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Otomatik bina çıkarımı için çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bina sınıfı ile birlikte çıkarılan diğer hedef sınıflarla karışıklıkların önlenmesi ve sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefle, geliştirilen yaklaşımın, mevcut yöntemlerle karşılaştırılarak; sağladıkları katkı, üstünlük (avantaj) ve sınırlamaların (dezavantaj) ortaya koyulması planlanmıştır.

Bu çalışma, ülkemizdeki kent yönetimi, kentsel dönüşüm projeleri ve afet yönetimi için gerekli olan mevcut durumun belirlenmesi ve güncel veri ile gelecekteki planların hazırlanması için otomatik obje çıkarımı konusunda ışıık tutabilecek alternatif bir yaklaşım getirmektir. Afet yönetiminde, özellikle; bina, yol sınıflarının hız, ekonomik ve 3B konumda yüksek doğruluk açısından ülkemizin afet olgusu düşünüldüğünde ivedilikle oluşturulan sistem için vazgeçilmez bir veri ve bilgi kaynağıdır. Otomatik çıkarılan binalar, kurtarma, ilk yardım ve iyileştirme çalışmalarının en hızlı, verimli ve etkili bir şekilde yapılmasını sağlamak, afet zararlarının azaltılması çalışmalarını kalkınmanın her aşamasına dahil etmek ve böylelikle mevcut riskin artmasını önlemek ve sürdürülebilir bir kalkınma sağlamak amacıyla etkin bir şekilde kullanılabilir. Kamu kuruluşları, araştırma enstitüleri, üniversiteler ve özel sektör gibi tüm kullanıcılar tarafından ihtiyaç duyulan ortak konulara ait coğrafi verilere ve bu verilere ait tüm öznitelik verilerine, istenilen yer ve zamanda ulaşılabilmesi, aktarılabilmesi ve kullanılabilmesi önemlidir. Ayrıca, yöneticilerin kente hakim olabilmeleri, yatırım planlaması, kentsel dönüşüm projeleri, değişimlerin belirlenmesi ve hızlı bir şekilde vatandaşa ulaştırılacak hizmetlerin planlanması vb. amaçlarla yürütülmesinde önerilen yaklaşım ve geliştirilen kurallar ile elde edilen objeler hizmet ve destek sağlanmasında etkin bir şekilde kullanım amacını da içermektedir.

1.3 Hipotez

Bu çalışma tek bir algılama sistemi yerine, aynı platform üzerine kurulan LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU' dan oluşan çoklu algılama sisteminden elde edilen 3B nokta bulutu, intensity verisi ve sayısal görüntüler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik obje çıkarımı için kural seti oluşturarak farklı bir yaklaşım geliştirmeyi öngörmektedir.

Klasik piksel tabanlı sınıflandırma yerine nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi sınıfların bütünlük ve doğruluk değerlerinin referans değerlere yakın sonuç vermesini sağlamaktadır. Klasik piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi, sadece piksellerin gri değerlerine dayalı obje çıkarımı ile gerçekleştirilen sınıflandırmaya dayanması sınırlamalar getirmektedir. Bu sınırlamalar ise hedef sınıflarda meydana gelen karışıklıklara neden olmaktadır. Bu sebeple nesne tabanlı pikseller gruplandırılarak objeler üzerinde işlemler yapılmasına olanak veren nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi seçilmiştir. Bu önerme ile kural setinin geliştirilmesinde nesneye yönelik kural tabanlı analiz yöntemi kullanılmıştır.

Çoklu algılama sistemi ile elde edilen verilerin, tek başına kullanılan diğer algılama sistemleri ile elde edilen verilere göre avantajları araştırılmış ve veri setinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bu avantaj farklı zamanlarda ve farklı özelliklere sahip verilerin kullanımında da objelerin yüksek doğruluk ile çıkarılması avantajı ile de üstünlük sağlar. Çoklu algılama sistemi verilerinin kullanımının önerilmesinin önemli bir sebebi de otomatik obje çıkarımında oluşturulan kurallardaki veri zenginliğidir. Bu veri zenginliği sayesinde geliştirilen kural seti ile amaca uygun hedef sınıflarının çıkarımı sağlanır.

Otomatik bina çıkarımında problem bina sınıfı ile bina sınıfı olmayan (yeşil alan, zemin vb.) sınıfların karışımıdır. Bu karışıklık ancak bina sınıfı özelliklerinin diğer sınıf özelliklerine göre farklılıkları tespit edilip, ayırt edildiğinde çözümlenebilir. Geliştirilen kural seti, farklı segmentasyonlar, bulanık mantık yöntemine dayalı sınıflandırma ve analiz işlemlerini içermektedir. Bina sınıfının oluşturulma aşamasında, yeşil alan, bina sınırı, gölge, çalışma sınırı ve zemin gibi yardımcı sınıfların bina sınıfının bütünlük ve doğruluk analizini olumlu yönde etkilemesi için oluşturulur.

Otomatik obje çıkarımında oluşturulan NDVI, yoğunluk, eğim, Hough ve Canny gibi görüntüleri sınıfların iyileştirilmesinde kullanılır. Yeşil alan ve bina sınıfının karışımını engellemek için CIR görüntü (ortofoto) ile NDVI yöntemi kullanılarak NDVI görüntü elde edilmesi, bu görüntüye kontrast ayırma segmentasyonu ve morfolojik filtreler uygulandığında yeşil alanı temsil eden segmentler oluşur. Bu segmentler bulanık mantığa dayalı sınıflandırma yardımıyla yeşil alan sınıfına atanma işlemi ile bina ve yeşil alandan kaynaklanan hata en aza indirgenmesi sağlanır.

Binaların üzerine gelen ağaçlardan kaynaklanan hatalar ile bina sınırlarının eksik çıkma sorunu meydana gelir. Bu sorun çizgi ve kenar yakalama (Hough ve Canny) yöntemleri kullanılarak giderilir. Bu yöntemlerden elde edilen görüntüler çoklu çözünürlüklü segmentasyon aşamasında, objeleri temsil eden segmentlerin uygun bir şekilde yakalanmasıyla sınıflandırma doğruluğunu artırır.

LiDAR intensity verisinden elde edilen yoğunluk görüntüsünün, bina ve bina olmayan objelerin ayırımında kullanılması sınıfların iyileştirilmesini sağlar. LiDAR nokta bulutu verisinden elde edilen YM kullanılarak Zevenbergen ve Thorne eğim yöntemi ile yer yüzeyi ve yer yüzeyine ait olmayan objelerin ayırımında kullanılır. Gürültü, gölge, araç, konteyner, pazaryeri vb. istenmeyen objeler mevcut ise bu objeler ayrı sınıflar altında toplanması bu sorunu çözer. Aynı değerlere sahip iki obje sınıfı mevcut ise bu sınıflar arasındaki karışımı engellemek için sınır değerler ve parametreler ile ayırım gerçekleştirilir.

Çoklu algılama sistem verileri kullanılarak otomatik bina çıkarımı için geliştirilen kural setindeki yaklaşım ile sınıf karışıklıklarından kaynaklanan hatalar giderilecek, bina sınıfı iyileştirilecek ve çıkarılan binaların sınıflandırma doğruluk ve bütünlük değerleri arttırılacaktır. Bu yaklaşım ile geliştirilen kural setinde ufak çaplı düzeltme işlemleri ile farklı çalışma alanlarında da yüksek doğruluk ile binaların otomatik olarak çıkarımı sağlanır. Bu sebeple bu çalışmanın sadece bir bölgeye yönelik bir çalışma olmadığı ve diğer bölgelerde de başarı gösterme potansiyeli test edilecektir. Böylece, önerilen yaklaşım ve geliştirilen kural setinin otomatik bina çıkarımında sadece tek bir çalışma alanı için geliştirilen basit kurallar dizisinden çok farklı karakteristikteki çalışma alanlarında uygulanabilen ve farklı problemler için farklı çözüm yolları içeren kurallar dizesi olması sağlanacaktır.

OBJE ÇIKARIMI TANIM VE YÖNTEMLER

Obje çıkarımı nokta, kenar ve bölgelerin anlamlı bir şekilde organize edilmesi, gruplandırılması ve uygun formda temsil edilmesidir (Vosselman vd. [1]). Objeye çıkarımının bir önceki adımı obje yakalama işlemidir (Ameri [80]). Objeye yakalama işlemi, objenin dış kontörlerini temsil eden geometrik şeklin tanımlanması şeklinde ifade edilir. Genellikle diğer objelerden ayırt etmek amacıyla gerçekleştirilir. Objeye çıkarımında, obje tipleri; insan yapımı objeler (man made), doğal objeler, yer yüzeyi (bare earth) ve sınıflandırılmayan objeler şeklinde 4 sınıfta toplanabilir. Ayrıca, haritalama ve modelleme için bilgi çıkarımında amaca uygun bina, yeşil alan ve yol gibi hedef sınıfların çıkarımı şeklinde de kullanılmaktadır. Objeye çıkarımında kullanılan kavramlar incelendiğinde literatürde farklı isimlendirmeler olduğu görülmektedir. Bu kavramlardan başlıcaları 4 madde altında toplanabilir [81].

1-Objeye Yakalama (Object Detection)

2-Objeye (Detay) Çıkarımı (Feature Extraction)

3-Objeye Yeniden Yapılandırma (Reconstruction)

4-Objeye Modelleme (2B ve 3B Model)

Bir objenin işlenmesi; yakalama, çıkarım, yeniden yapılandırma ve modelleme işlem adımlarından oluşmaktadır (Ameri [80]). Bu adımların her biri ayrı bir araştırma konusudur. Bu sebeple, objeye çıkarımında görüntü analiz yöntemleri objeye yakalama ve detay çıkarımı yöntemlerini içerir.

Obje çıkarımı aynı zamanda bilgi çıkarımı olarak da ifade edilir. Bir objenin genel bilgisi denildiğinde; objenin matematiksel mantık ve biçimsel olarak temel prensiplere göre ifade edilmesidir. Objelerin tanımlanması, ayırt edilebilirliği ve bilgi sağlanması, objelerin kullanım amaçlarına göre özellikle CBS oluşumu ve geliştirilmesinde önemlidir. Obje çıkarımı, arazi kullanımı ve zamansal değişim incelemesi gibi genel amaçlı uygulamalar ya da bina, yol, kıyı alanı ve ormanlık alan vb. özel amaçlı uygulamalar için gerçekleştirilir.

Yüzyıllardır bilim adamları bilgiyi temsil etmek ve geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu gelişmenin tarihini incelediğimizde ilk olarak matematiksel mantık ifadeleri ortaya çıkmıştır. Prolog, 1970'li yılların başında Alain Colmerauer ve arkadaşları tarafından tasarlanan ve 1972 yılında geliştirilen yapay zeka programlarında kullanılan ilk programlama dilidir. Bu programlama dili kullanılarak bilgi ile detay çıkarımı konusunda çalışmaların temeli atılmıştır (Clocksin ve Mellish [82]). 1980'li yılların sonlarına doğru çizgisel haritaların sayısallaştırılması, otomatik doku tanımlama ve DTM toplama vb. girişimler ile obje çıkarımı kendisini göstermeye başlamıştır. Bu dönemlerde, sayısal görüntünün film tabanlı görüntüye göre avantajları tartışılmaya başlanmıştır. Yeni tekniklerin gelişmesiyle, yarı otomatik ve otomatik denemelerde yaklaşık %80 başarılarla ulaşılmasına rağmen, yanlış ve eksik sınıflandırma işlemlerinin düzeltilmesi ise uzun yıllar almıştır. 1990'lı yılların başında otomatik çizgi sayısallaştırılması oldukça iyi sonuç verirken, metinlerin çıkarımında problemler görülmüştür. Bu yıllarda stereo çiftlerinden otomatik robust ile SAM toplama gerçekleştirilmiştir. Bu gelişim sayısal fotogrametri de önemli bir buluş olarak yerini almıştır. SAM 'inden kontur ve kırık çizgi (breakline) çıkarımı otomatik hale gelmiş, sayısal görüntü işleme ile uydu görüntülerinin analizi yapılmaya başlanmış, kontrollü ve kontrolsüz görüntü sınıflandırma ile CBS için direkt veri sağlama imkanı sunulmuştur. Bu gelişmeler ışığında klasik sınıflandırma yöntemleri ve sayısal görüntü işleme teknikleri geliştirilmeye başlanmıştır. Otomatik obje çıkarımının tarihi eski olsa da gelişen teknoloji ve yöntemler ile güncel bir konu olmaya devam etmektedir. Özellikle, otomatik obje çıkarımının kullanıldığı değişim analizleri, afet yönetimi, kent planlanması gibi her türlü coğrafik çalışmaya altlık oluşturacak tematik haritaların

önemli uygulama alanları dikkate alındığında bilgi çıkarımı vazgeçilmez bir ihtiyaç olmaktadır.

Bu bölümde obje çıkarımında kullanılan kavramlar ve görüntü analiz yöntemleri ele alınmıştır. Geliştirilen algoritmalar ve tercih edilen yöntemler ile ideal yaklaşımlar incelenmiştir. Bilgisayarlı görüntüleme ve sayısal görüntü işleme teknikleri ile objelerin yakalanması ve çıkarımı için geliştirilen yöntemler ele alınmıştır. Literatürde mevcut olan otomatik obje çıkarımında kullanılan yöntemlerden ilham alınarak, karşılaşılan problemlerin çözümü için alternatif yöntemlerin sunulması ve geliştirilen yaklaşımın temel taşları bu yöntemler baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu hedef ile yapılan çalışmada, nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak önerilen otomatik bina çıkarımı için yaklaşım ve kural seti geliştirilmiştir.

2.1 Görüntü Analiz Yöntemleri

Uzaktan algılama ve fotogrametri de kullanılan görüntüler, işlendikten sonra bilgi çıkarımı için analiz edilirler [81]. Bilgi çıkarımının genel bir ifadesi görüntü yorumlamadır. Bu işlem renk, şekil, ton, doku, gölge gibi görüntü elemanlarından yararlanılarak obje yakalama, tanımlama, betimleme (tasvir etme) ve çıkarımını hedefler [81]. Literatürde, bilgi çıkarımı, detay çıkarımı ve obje çıkarımı gibi farklı ifadeler ile kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise görüntünün analiz ve işleme aşamasını içeren obje çıkarımı ifadesi kullanılmıştır.

Sayısal fotogrametri, bilgisayarlı görüntüleme (Computer Vision), yapay zeka ve görüntü işleme gibi bir çok bilimi kullanır [83]. Bu bilimler sayısal fotogrametrideki temel işlemlerin daha iyi anlaşılması, özellikle obje tanımlama ve çıkarımı için yardımcı olur. Obje çıkarımında analiz aşaması, bilgisayarlı görüntüleme biliminde görüntü yorumlama ile açıklanır. Görüntü yorumlama; görüntü analizi, anlama ve değerlendirme şeklinde üç ana başlık altında toplanabilir [81]. Görüntü analizi ile görüntünün özelliği ortaya çıkmaktadır. Örneğin; objenin büyüklüğü ve şekli, bir objenin diğer objelerden olan uzaklığı, morfolojik özellikleri, obje sınırları ve komşuluk ilişkileri ve yoğunluk gibi özelliklerin kullanılması ile görüntü analizi yapılmaktadır. Görüntü yorumlamanın ikinci aşaması olan görüntü anlama, doku tanımlama ile ifade edilebilir. Doku tanımlama, örnek girdi verileri dikkate alınarak, çıktı verileri ile

mekansal ve spektral özelliklere göre oluşturan özel algoritmalar olarak tanımlanabilir. Görüntü değerlendirme içeriği ise, daha genel işlemlere yönelik karar verme ve planlama gibi adımları kapsar. Örneğin; çevresel kalite değerlendirme ve planlama, kent yönetimi, afet ve kriz yönetimi gibi konular için uzaktan algılama ve fotogrametri verilerinin değerlendirilmesi olarak tanımlanabilir.

Geliştirilen stratejiler dikkate alındığında genel olarak obje çıkarım yöntemi 6 kategoride toplanabilir [63].

1. Görüntü sınıflandırma
2. Spektral karışmama
3. Doğrusal detay çıkarımı
4. Zamansal değişim
5. Morfolojik bilgi çıkarımı (filtreler, operasyonlar)
6. İstatistiksel regresyon (değişkenler arasındaki ilişkiyi test etmek için kullanılan istatistiksel metot)

Bu çalışmalar literatürde görüntü analiz yöntemleri altında incelenmiştir. Bu kapsamda otomatik obje çıkarımı, bilgisayarlı görüntüleme, sayısal görüntü işleme ve sınıflandırma alt başlıkları ile ele alınmıştır. Bilgisayarlı görüntüleme ile obje çıkarımında, geometrik-topolojik obje çıkarımı ve genel bilgi şeklinde ele alınmıştır. İkinci bölümde ise sayısal görüntü işleme yöntemlerinden filtreler ve morfolojik operatörler ve segmentasyon yöntemi açıklanmıştır. Son olarak da otomatik obje çıkarımında önemli bir adımı olan sınıflandırma işleminin tanımı ve günümüzde tercih edilmeye başlanan nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin detayları verilmiştir. Nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma ve bulanık mantık yöntemleri de nesne tabanlı sınıflandırmanın alt başlığı altında anlatılmıştır.

2.1.1 Bilgisayarlı Görüntüleme

Bilgisayarlı görüntüleme (Computer Vision), bir veya bir dizi görüntünün otomatik olarak analiz edilerek gerekli bilginin oluşturulmasını sağlayan teorik ve algoritmik yapıların geliştirildiği bir bilimdir (Haralick ve Shapiro [84]). Obje çıkarımında kullanılan

tekniklerin gelişmesi bilgisayarlı görüntüleme tekniklerinin gelişmesiyle paralellik göstermektedir. Fotogrametri ve uzaktan algılama alanı açısından bilgisayarlı görüntülemenin amacı, görüntülerden otomatik olarak anlamlı bilgi çıkarımı olarak tanımlanabilir. Bu amaçla, objelerin temsil edilmesi için ilk olarak geometrik-topolojik olarak ifade edilmesi, ikinci olarak da genel bilgi şeklinde temsil edilmesi gerekmektedir.

2.1.1.1 Geometrik–Topolojik Obje Tanımı

Bilgisayarlı çizim, CAD ve CBS’de objenin temsili için başlıca odak noktası, geometrik objelerin yapısı, görüntülenmesi ve işlenmesidir. Obje temsili için temel bileşenler ise nokta, çizgi ve alandır. Geometrik temsilin yanında, obje tanımlamasında topolojik obje tanımı da mevcuttur. Özellikle CBS’de kullanılan birçok temsil formları bilinmektedir [83]. Obje tanımlama için başlıca kullanılanlar ise nokta, çizgi (kenar), alan (polygon) ve diğer (çoklu çizgi, yüz, eğri, düğüm noktası vb.) şeklinde sıralanabilir. Örneğin; CAD ve CBS için uygun veri formatı dikkate alındığında, detay topoloji ile ilişkilendirildiğinde binanın konumu için nokta, binalar ve sınırlar için poligon, yollar için ise çizgi ile tanımlanabilir.

Nokta

Noktalar sıfır boyutlu özellik gösterir ve kendi koordinatları ile temsil edilirler (2.1).

$$p = p(x, y) \text{ } 2B \text{ ve } p = p(x, y, z) \text{ } 3B, x, y, z \in R \quad (2.1)$$

Çizgi

Çizgi bir boyutlu özellik gösterir ve en basit noktalar kümesi, parça doğrusal eğri olarak tanımlanabilir. Ayrıca polinomal fonksiyon olarak tanımlanabildiği gibi, çoklu çizgi şeklinde de kullanılabilmektedir.

Alan

2B kapalı poligonlar (polygon) olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle ilk ve son noktası eşit olan çizgi şeklinde de ifade edilebilir. Özellikle iki obje arasındaki ağ veya bağlantı analizi ilişkinin tanımlanmasında topolojik kodlama ile çakışma, birleşme ve sınır ifadeleri kullanılmaktadır.

Yüzey

Yüzeyler 2.5B ve 3B olarak iki şekilde temsil edilebilir. Topografik yüzey, matematiksel olarak sürekli bir yüzey olarak ifade edilebilir. Bu yüzey tanımlanmasında en tipik yüzey tanımlama 2.5B'dir. Burada yükseklik z konumun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu temsil topografik uygulamalarda kabul edilebilir bir limitte olmasına karşın, doğal falezler, insan yapımı köprü, tünel, duvar ve binalar gibi objeler için üç boyutlu temsil kullanılmaktadır. Sayısal Arazi Modeli (SAM), yeryüzünün, bilgisayarla yapılacak işlemlerde temelini oluşturan sayısal gösterimidir. Bu tanım dar anlamda sadece yükseklik verilerini, geniş anlamda ise hem yükseklik hem de planimetrik verileri içermektedir (Alkış [85]). Genellikle topografik yüzeye ilişkin yükseklik bilgileri çıplak yer yüzeye ilişkindir ve sayısal yükseklik modeli şeklinde ifade edilerek, ağaçları ve binaları içermez (Yastıklı [86]). Sayısal Yükseklik modeli USGS (US Geological Survey) tanımına göre ise, arazinin yükseklik bilgisinin kullanılan ortak bir düşey datum da X ve Y yönünde düzenli aralıklarla sayısal gösterimi şeklinde ifade edilmiştir. Binaları ve ağaçların yükseklik bilgilerini içeren bir durum ise sayısal yüzey modeli olarak tanımlanabilir. Yüzeyler bir fonksiyon ya da farklı değerler kümesi şeklinde de, enterpolasyon yöntemleri ile beraber tanımlanabilir. Bu fonksiyona göre $p(x,y)$ ile tanımlı her nokta sadece bir adet z değerine sahiptir (2.2). Bu şekilde oluşturulan yüzey aşırı kıvrımlı olmamalıdır.

$$z = f(x, y), x, y, z \in R \quad (2.2)$$

Bu şekilde kullanılan yapı grid ya da raster yapı olarak adlandırılır. Topografik yüzeyi üzerine kare veya dikdörtgen gridler yerleştirilir ve grid düğüm noktalarının yükseklikleri hesaplanır. Bu yapı düzenli grid noktalarının her biri için enterpolasyon yöntemi ile hesaplanan yükseklik doğru bir şekilde belirlenebilir.

Topografik yüzeylere ilişkin ikinci bir temsil ise Düzensiz Üçgen Ağı (TIN), rastgele dağılmış X, Y, Z koordinatları bilinen noktalar yardımıyla hesaplanan komşu, kesişmeyen üçgenler topluluğu olarak tanımlanabilir (Yastıklı [87]). TIN veri yapısı, birbirlerine komşu ve bindirmesiz üçgen setlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, düzensiz olarak dağılmış nokta, çizgi ve poligon verilerinden oluşmaktadır. TIN modeli üçgenler ve komşu kenarları arasındaki topolojik ilişkileri saklar (Köroğlu [88]). Bu veri yapısı, arazi ve diğer yüzey çeşitlerinin görüntülenmesi ve analizi için kullanışlı yüzey modelleri

oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Heipke [89]). Üçüncü bir yapı ise hibrit (melez) yapı olarak ifade edilir. Bu yapı grid ve TIN yapının avantajlarının bir bütünü şeklinde tanımlanabilir. Düzenli grid yapısını ve TIN kullanarak jeomorfolojik bilgiyi (kırık çizgiler, vb) tanımlar.

2.1.1.2 Temel Detay Çıkarım Yöntemleri

Detay bir görüntüdeki farklı objelerin ayırt edici özelliklerini kullanarak, gruptama, sınıflandırma işlemlerinin bir bütünü şeklinde ifade edilebilir. Bu ayırt edici özellikler renk, doku, şekil gibi objenin genel özelliği olabileceği gibi konum, komşuluk, yoğunluk gibi özelliklerde olabilmektedir. Detay çıkarımının amacı, görüntü içerisinde yer alan objelerin istenen amaca uygun olarak elde edilmesidir. Bu elde etme işleminin sonucu görüntü ya da simge şeklinde olabilmektedir [1]. Bu tanımından yola çıkıldığında, başlı başına temel bir konu olmasına karşı, fotogrametri, sayısal görüntü işleme ve bilgisayarlı görüntüleme konularının alt başlığı olarak da ele alınmaktadır. Bilgisayarlı görüntüleme ile sayısal görüntünün nasıl ifade edileceği konusu açıklık kazanmaktadır. Sayısal görüntü işleme tekniklerinin gelişmesi ile detay çıkarımında kullanılan tekniklerde hızla değişmektedir. Literatürde detay çıkarımı belirtilen bu dalların altında farklı şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu sebeple detay çıkarımı için belirli kriterler uygulanması gerekmektedir. Bu kriterler Förstner ve Gülch [90] göre değişmezlik, tutarlılık ve yorumlanabilirlik olarak üç temel nokta üzerine formüle edilmiştir. Bu şekilde detay çıkarımı için yapılan çalışmalarda; nokta, çizgi ve bölgesel (alansal) olmak üzere üç temel çıkarım üzerine yoğunlaşmaya başlanmıştır.

Nokta çıkarımı

Nokta çıkarımı bilgisayarlı görüntüleme mantığındaki gibi sıfır boyutlu ve iki koordinat ile ifade edilebilen bir yöntemdir [91]. Farklılık kriterine göre noktalar komşu noktalardan farklı olmak zorundadır. Genelde aynı düz çizgi üzerindeki noktalar uygun değildir. İkinci kriter ise seyrekliktir. Global nokta ayırabilirlik özelliği lokal farklılığın ortaya çıkarılması ile mümkün olmaktadır. Nokta çıkarımı için en yaygın kullanılan operatörler Deriche operatörü ve Förstner operatörüdür.

Çizgisel doğrusal çıkarım

Çizgisel çıkarım tek boyutlu matematiksel bir ifade olarak tanımlanır, kenar ve çizgiler ile ifade edilmektedir [91]. Bir kenar görüntüdeki bir bölge tipinin karakterize edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Matematiksel ifadesi ise genelde basamak kenar (step edge) diğer bir adıyla Heaviside fonksiyonu (2.3) ile tanımlanabilir.

$$g_{basamak_kenar}(x) \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ h, & x > 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Çizgisel çıkarım birinci türev, ikinci türev ve basit geometrik kenar çıkarımı şeklinde üç grupta tanımlanabilir. Görüntüdeki gürültü genellikle alçak geçişli filtreleme veya farklı çeşitleri ile yumuşatma işlemi ile giderilir. Bu yumuşatma işleminden sonra kenarları tanımlamak için iki temel işlem mevcuttur. Görüntü fonksiyonunun birinci türevinin maksimumu veya ikinci türevin sıfır geçişi (teğet) kenar olarak tanımlanır. Birinci türeve göre kenar çıkarımı, sayısal görüntü işlemenin temeline dayanmaktadır. Görüntü fonksiyonunun satır (g_r) ve sütun (g_c) yönlerine göre hesaplanır. Kenar ise birinci türevin maksimum değerine göre hesaplanmaktadır. Filtreleme sonucuna göre satır ve sütun yönleri $\sqrt{g_r^2 + g_c^2}$ olarak hesaplanır. Kenarın yönü ise $\arctan(g_r/g_c)$ şeklinde tanımlanır. Bir önemli problem ise uygulamadaki kenara ait birinci türevin değeridir. Bazı koşullarda sadece güçlü kenarlar dikkate alındığı gibi diğer koşullarda ise zayıf kenarlar önem kazanmaktadır. Bu sebeple uygulaman görüntü filtreleri incelendiğinde görüntü fonksiyonundaki gürültü, bozukluklar ve ayırma işlemleri ile geliştirilmeye çalışıldığı görülmektedir. İlk kenar yakalama operatörleri olan Prewitt (1970) ve Sobel (1975) bu işlem için verilebilecek tipik örneklerdendir. 1970 ve 1980'li yıllar incelendiğinde birçok farklı kenar operatörleri dizayn edilmiş, testlerden geçmiş ve diğerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu tarihsel gelişim Canny (1986) ile kenar yakalama konusunda özel matematiksel bir form olan yakalama, lokalizasyon (konumlama, yerini belirleme) ve çoklu yanıt kriterleri ile farklı bir şekilde karşımıza çıkmıştır.

1. Birinci Türev: Canny

Canny kenar yakalama operatörü günümüzde oldukça yaygın kullanılan bir kenar yakalama tekniğidir. Temelde üç ana prensip ile formülize edilmiştir. Yapay sonucu olmayan optimal (ideal) yakalama, yakalanan kenar ile gerçek kenar konumu arasındaki en küçük mesafenin elde edilmesi ile iyi bir lokalizasyon sağlanması ve tek kenar için

tek sonuç ile çoklu sonuçları elemine etme şeklinde formülize edilmiştir. İlk gereksinim, gürültünün azaltılması amacı ile ortaya çıkmıştır. Bu amaç ise optimal yumuşatma ile etkili sonuca ulaşılması mümkün olmuştur. Canny, Gauss filtresinin kenar yakalama için ideal bir yöntem olduğunun ilk kanıtıdır. İkinci kriter olan kenarların doğru yerlerde yakalanması, doğruluk analizi açısından önem arz etmektedir. Bu durumun başarılı bir şekilde sağlanması maksimum olmayanları tutma, bastırma (non-maximum suppression) diğer bir ifade ile tepe noktasına eşit olan noktaların işlenmesi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem ile inceltme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde kenarları temsil eden noktalar inceltirilerek, kenarlar doğru yerlerde elde edilmiş olur. Üçüncü koşul ise, eşik değerinin değişimi ile tek kenar noktasının konumu ile ilgilidir. Bu durum daha önceki operatörlerde yaşanan bir kenarın, birden fazla şekilde ifade edilmesi sorununun giderilmesi amaçlı formülize edilmiştir. Canny kenar yakalama algoritması 4 adımda gerçekleşmektedir (Nixon and Aguado [92]).

1. Gauss yumuşatma (Şekil 2.1 a)
2. Sobel operatörü (Şekil 2.1 b)
3. Maksimum olmayan tutma yöntemi (Non-maximal suppression) (Şekil.2.1 c)
4. Kesikli eşikdeğer (hysteresis thresholding): İdeal kenar noktalarını yakalamak için eşikdeğerin kullanılması ve final kenarın dışındaki tüm kenar olasılıklarının ortadan kaldırılmasıdır. (Şekil 2.1 d)

Canny kenar yakalama algoritmasında kullanılan işlem adımlarının matematiksel ifadeleri denklem (2.4)'ten, denklem (2.10) eşitlikleri ile tanımlanmıştır. (2.4) denklemi görüntü yumuşatması için kullanılan Gauss operatörünün matematiksel ifadesidir. $U_x = [1,0]$, $U_y = [0,1]$ vektörlerinin farkları alındığında (2.5) ve (2.6) eşitliği yardımıyla birinci türev (2.7) ve kenarların normali (2.8) hesaplanır. Gauss fonksiyonunun ikinci türevi alındığında Canny kriteri kenarları doğru konumlarında yakalar (2.9) ve (2.10) (Nixon and Aguado [92]).

$$g(x, y, \sigma) = e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$

$$\nabla g(x, y) = \frac{\partial g(x, y, \sigma)}{\partial x} U_x + \frac{\partial g(x, y, \sigma)}{\partial y} U_y \quad (2.5)$$

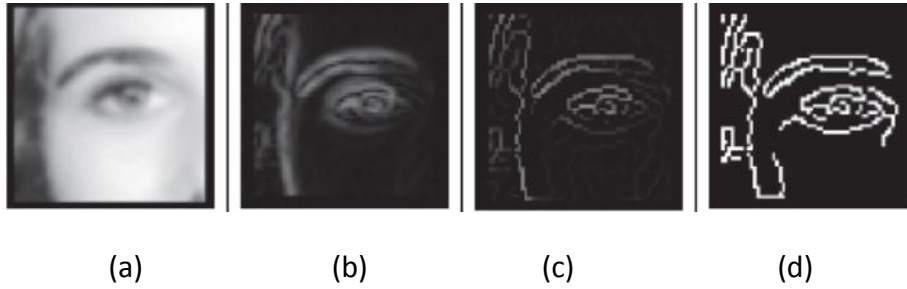
$$\nabla^2 g(x, y) = -\frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} U_x - \frac{y}{\sigma^2} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} U_y \quad (2.6)$$

$$G_n = \frac{\partial g}{\partial n_{\perp}} \quad (2.7)$$

$$n_{\perp} = \frac{\nabla(P*g)}{|\nabla(P*g)|} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial(G_n*P)}{\partial n_{\perp}} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial^2(G*P)}{\partial n_{\perp}^2} \quad (2.10)$$



Şekil 2. 1 Gauss yumuşatma (a), Sobel kenar yakalama(b), Maksimum olmayan tutma yöntemi (c), Kesikli eşikdeğer (d) [92].

2. İkinci Türev: Laplacian

İkinci türev Laplacian, LOG (Laplacian of Gaussians) ve DOG (Difference of Gaussians) olarak tanımlanmaktadır. Kenarlar, ikinci türevin değiştiği ve teğet olduğu yerler olarak belirlenmektedir. İkinci türevin en önemli kenar yakalama özelliği kenarların her zaman kapalı olmasıdır. Bu özellik ise çok zayıf kenarların kötü lokalizasyonuna (konumuna) yol açmaktadır. Bu durumu önlemek için genellikle kenar piksel eşik değerinin birinci türevdeki değeri alınır. İkinci türeve dayalı kenar yakalamada başka bir özellik ise sonuçların büyük ölçüde yumuşatma miktarına bağlı olmasıdır. Eğer bir görüntü fazla kuvvetli (etkin) bir şekilde yumuşatıldığında, sonuç kenarlar nispeten geniş bölgelere bağlı olacak ve ana hatlar büyük bir eğrilik yarıçapına sahip olacaktır. Sıfırdan (teğetten) geçen değerın yakalanmasının en kolay yolu, görüntü filtresinin eşik değerinin ikinci türevini sıfır olarak kabul etmektir.

3. Basit Geometrik Kenar Çıkarım

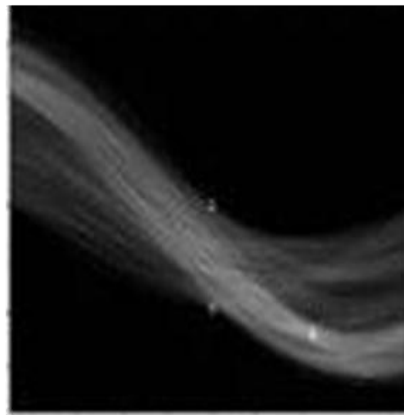
Birçok uygulamada amaç genel hatlar ile kenarları belirlemek yerine, görüntüdeki geometrik özellikleri dikkate alarak daire veya keskin kenarlar şeklinde objeleri ifade etmektir. Bu tür çıkarım içinde en belirgin olan ise Hough Dönüşümüdür. Bu dönüşüm

ile özellikle kenarları temsil eden kaybolan noktaların çıkarımı ve bir noktada kesişen keskin kenarların çıkarımında oldukça faydalı bir yöntemdir.

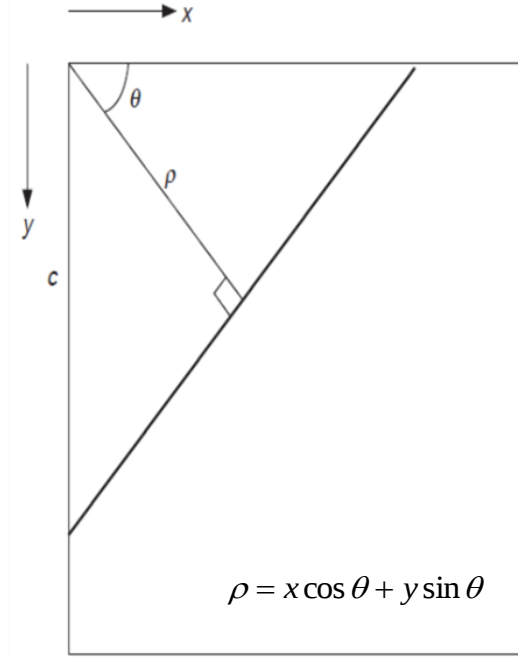
Hough Dönüşümü

Hough (1962) dönüşümü, sayısal görüntülerdeki doğruların ve diğer objelerin tespit işlemi için sıkça kullanılan bir görüntü analiz algoritmasıdır. Hough dönüşümünü günümüze kadar taşıyan en önemli avantajı çizgisel süreksizliğidir. Bu dönüşüm, obje sınırlarındaki boşlukları tolere eder ve görüntü gürültüsünden etkilenmemektedir. Görüntülerdeki doğruların yakalanabilmesi için, görüntüdeki her bir noktaya ait x ve y piksel koordinatlarına karşılık, dönüşüm sonrası görüntüde tanımlanan bir doğru yer almaktadır [92]. Bu ifadedeki θ açısı, oluşacak olan doğrunun normalle yaptığı açıdır. ρ Uzunluğu ise bu doğrunun eksen orta noktası ile arasındaki en kısa mesafe olan doğru ile merkez arasındaki cebirsel uzaklıktır. Bu parametreler yardımıyla doğru yakalama işlemi sırasında, oluşacak yeni görüntüde (akümülatör), (Şekil 2.2), orijinal görüntüdeki her bir noktaya karşılık bir adet doğru meydana gelecektir (Arefi vd. [93]). Orijinal noktaya ait iki nokta dikkate alındığında iki adet doğru (2.11) denklemi yardımıyla elde edilecektir. Doğruların her birinin sonsuz uzunlukta olduğu ve farklı θ , ρ değerlerine sahip olacakları için bu iki doğru mutlak suretle çakışacaklardır. Bu iki doğrunun çakışma noktası ise, orijinal görüntüdeki olası bir doğruyu temsil etmektedir (Şekil 2.3). Bu dönüşüm ile görüntüdeki objelerin konturları yakalanmıştır.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (2.11)$$



Şekil 2. 2 Hough dönüşümü: Akümülatör



Şekil 2. 3 Bir doğrunun normal parametreleri [92]

Kenar Bağlama ve Basitleştirme

Kenarları temsil eden piksellerin çıkarımından sonra kenar bağlama dönüşümü ile özellikle CBS kullanıcılarının tercih ettiği vektör formatı ile verinin işlenmesidir. Obje tabanlı görüntü analizinde ise objenin segmentler ile temsil edilmesi şeklinde tanımlanır. Kenar basitleştirme işlemi ise, kenarların vektör formatına dönüştürüldükten sonra genelleştirme yöntemi ile objeyi temsil eden çizgi veya poligonu basitleştirme işlemidir. Bu işlem ile temel şekil korunarak sınırlardaki küçük dalgalanmalar veya gereksiz eğiklik ve kavisleri kaldırılır. Douglas-Peucker algoritması kenar basitleştirme işlemi için yaygın kullanılan algoritmalarından biridir.

2.1.1.3 Genel Bilgi Şeklinde Obje Çıkarımı

Obje tanımlama problemi genel olarak model tasarımı şeklinde de ortaya çıkmaktadır. Objelerin birbirinden farklı özelliklerini tespit etme, karakterize bir dizi şeklinde ifade etme, net bir şekilde objeleri tanımlama ve ilişkilendirme, aynı görüntüdeki diğer objelerden ayrılması işlemi için birçok yöntem geliştirilmiştir. İlk olarak mevcut modellerin kullanımı şeklinde bilgi edinilebilir. Bu yöntem ile sayısal kaynaklardan yararlanılarak sayısal haritalar, CBS veri setleri kullanılarak objeler hakkında özel detay bilgileri çıkartılabilir. İkinci yöntem ise; model tasarımı tanımlama olarak

adlandırılabilir. Bu yöntem ile objelerin genel bilgileri dikkate alınarak obje çıkarımı sağlanmaktadır. Bu yöntem yaygın kullanılan bir yöntem olarak literatürde yerini almıştır. Diğer bilgi edinme yöntemi ise, daha esnek olan tekniklerin öğrenilmesi şeklinde tanımlanır. Bu yöntem kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemi ile örnek kümeler yardımıyla objeler hakkında ilgili açıklama ile elde edilir. Uzaktan algılamanın konusu olan sınıflandırma tekniklerinden en yakın komşuluk veya ISO DATA algoritması Campbell [94] piksel tabanlı sınıflandırma için en bilinen yöntemlerdendir. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ise farklı karmaşık objelerin çıkarılmasında Sester [95] kullanılmaktadır.

2.1.2 Sayısal Görüntü İşleme Yöntemleri

Otomatik obje çıkarımında, sayısal görüntü işleme yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler ile sayısal görüntülerin amaca uygun olarak çeşitli matematiksel ifadeler yardımıyla işlenmesi sonucunda yeni görüntü oluşturma amaçlanır. Sayısal görüntü işleme yöntemleri ile obje çıkarımı orijinal görüntü üzerinde yapılan çalışmalar ile ele alınır. Bu yapılan çalışmalara ön işleme aşaması da denilebilir. Ayrıca bu görüntüler obje çıkarımında analiz kısımlarında da kullanılır. Uygulanan görüntü işleme algoritmaları temel olarak nokta, grup ve istatistiksel operatörler şeklinde üç grupta ele alınmaktadır [92]. Nokta operatörleri ile sadece ilgili pikselin görüntüdeki yeri veya renk değeri ile çalışıldığından dolayı basit işleme tekniği olarak kabul edilir. Bir görüntüdeki parlaklık değişimi histogramlar ile ifade edildiğinden, nokta operatörleri ile görüntünün parlaklık ve uygun kontrast değeri için histogram eşitleme, parlaklık ayarlama, eşik değeri (threshold) gibi ön işleme çalışmaları yapılır (Gonzales [96]). Bu şekilde, görüntü zenginleştirilmesi ve iyileştirme adımları uygulanabilir. Grup operatörlerinde ise, Gauss ortalama operatörü, medyan, ortalama, katlama operatörleri ve farklı piksel gri değerleri baz alarak uygulanan istatistiksel tekniklerdir. Ayrıca, erozyon, dilatasyon, açma ve kapama gibi matematiksel morfolojik operasyonlarda bu gruba dahil edilir [92]. Bazı ön işleme yöntemleri orijinal renkli görüntünün üzerinde yapılabildiği gibi aynı zamanda ikili (binary) görüntü hali ile de işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle kenar yakalama ve morfolojik işlemlerde ikili görüntü işleme tekniklerinde başarının arttığı gözlenmiştir [97]. İstatistiksel operatörler ise yumuşatma ve farklı filtreler ile uygulanan metotları kapsamaktadır. Bu

operatörler özellikle obje çıkarımı için önemli ve yararlı bir ön işleme adımını oluşturmaktadırlar.

Otomatik obje çıkarımının tarihsel gelişimi incelendiğinde bilim adamları ilk olarak çizgi yakalama, kenar yakalama üzerine çalışmalar yapmışlar ve sayısal görüntü işleme yöntemleri kullanarak farklı filtreler ve matematiksel ifadeler ile başarılar elde etmişlerdir. Hough dönüşümü ile çizgi yakalama, Canny operatörü ile kenar yakalama vb. farklı algoritmalar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, morfolojik operatörler ile yakalanan ya da analiz edilen piksel değerlerinin komşuluklarına göre birleşme, ayrılma, kapanma ve açılma gibi amaca uygun objeler elde edilmesinde yardımcı birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu teknikler bazen tek başlarına kullanılırken bazen de bilgi çıkarımı için sınıflandırma yöntemi ile beraber kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, sayısal görüntü işleme teknikleri başlığı altında obje çıkarımında yaygın olarak kullanılan filtreler, matematiksel morfoloji ve segmentasyon yöntemi alt başlıklar şeklinde detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.1.2.1 Filtreler

Görüntü filtreleme genellikle orijinal görüntüdeki komşu pikselleri kullanarak, istenilen amaca uygun farklı piksel gri değerler ile yeni gri değerlere sahip görüntü elde edilmesidir (Gonzales [96]). Görüntüdeki bir pikselin gri değerinin çevresindeki komşu pikseller yardımıyla yapılan işlemler sonucunda yeniden belirlenmesi olarak tanımlanabilir [92]. Filtreler görüntü içerisindeki ayrıntıları ortaya çıkartmak veya istenmeyen gürültülerin yok edilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Görüntü yumuşatma, kenar keskinleştirme, kenar yakalama gibi farklı amaçlar için farklı filtreleme operatörleri vardır.

Görüntüyü oluşturan pikseller konumları ve gri değerleri ile tanımlanarak, bir görüntü matris formuna sahiptir. Yapılan bu işlemler filtre matrisi ile tanımlanır. Farklı amaçlar için kullanılan filtreler mevcuttur. Filtreleme operatörleri doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde sınıflandırılabilir.

$$g(x, y) = \sum_{(i,j) \in \Sigma_r} h(x - i, y - j) f(i, j) \quad (2.14)$$

(2.14) Eşitliğinde kernel (h) konvolasyonu ile tanımlanmaktadır. Farklı çeşitlerde kernel konvolasyonları mevcuttur. Bu filtreler yumuşatma filtreleri (low pass filters) ve gradient filtreleri (high pass filters) olarak adlandırılır.

Yumuşatma Filtreleri

Bu filtre görüntüdeki gürültünün ortadan kaldırılması ya da azaltılması amacı ile kullanılır. Genellikle 3x3 konvolasyon maskesi kullanılmaktadır. Bu filtrenin başarılı bir şekilde kabul edilmesi için gürültünün görüntüdeki istenilen objeden daha küçük olması gereklidir. Bu matrisin dışında 5x5 ve 7x7 gibi geniş filtrelerde kullanılabilir. Bu filtrede dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ise; sonuç görüntüde gürültünün kaybolmasına izin verilirken, kenarların bulanık hale dönüşmesi ile görüntüde detay kaybı gibi istenmeyen bir durum oluşturmamaktır. Genel ortalama filtre matrisi ve Gauss filtre matrisi kullanılmaktadır.

Gradient Filtreleri

Görüntüdeki kenarların daha belirgin, keskin hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Birinci veya ikinci türev operatörleri ile vektörün büyüklüğü ve doğrultusu kullanılarak gerçekleştirilir. Farklı doğrultularda matrisler tanımlanmıştır (2.15). En basit gradient operatörü Robert ve Cross operatörüdür. Ayrıca, Prewitt, Sobel (2.16) ve Laplace operatörleri de yaygın kullanılan kenar yakalama operatörleridir [98]. Sobel x ve y yönünde filtreleme yapılır. Yatay ve düşey yönde keskinlikleri yakalar. Laplace operatörü ise her yöndeki keskinleştirme işlemini gerçekleştirmektedir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \text{ ve } \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ ve } \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ ve } \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Robert Cross , Prewitt, Sobel

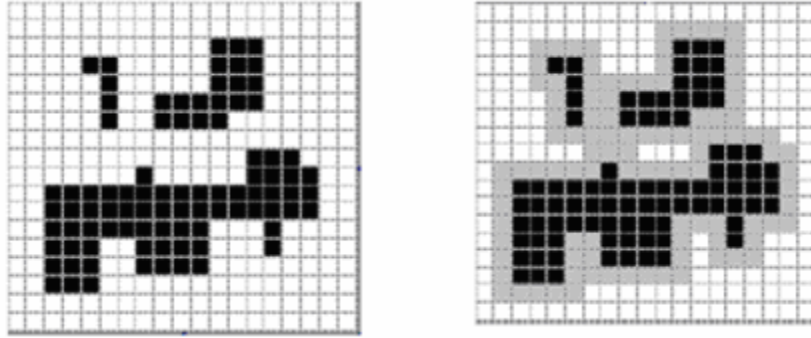
2.1.2.2 Matematiksel Morfoloji

Matematiksel morfoloji, sayısal görüntü işlemenin konusuna ait doğrusal olmayan matematiksel ifadeleri kullanarak, görüntü üzerindeki nokta kümeleri arasında şekil ve bağlantı kurmaya yarayan operatörlerdir. Bu operatörler, görüntü işleme tekniğinin bir görüntü içindeki objeleri ortaya çıkarmak, tespit etmek, belirginleştirmek için kullandığı bir filtreleme yöntemidir. Bu filtreleme yöntemi geometrik bilgi çıkartan gerekli bir araçtır. Matematiksel morfolojinin doğuşuyla temel küme işlemlerine dayanan, obje sınırlarını çıkarma, objelerin tanımlanması ve çıkartılması, gürültü giderilmesi gibi uygulamalar için kullanılır. 1960'lı yılların sonlarında Matheron ve Serra tarafından ilk kullanılmaya başlanmıştır. Serra 1982 ve 1988 yıllarında yayınladığı kitaplarında ve Heijman 1994 yılında yaptığı araştırmalar ile morfoloji konusunda detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Temel morfolojik çalışmalar incelendiğinde, ikili görüntüler üzerine yapılan uygulamalar dikkatimizi çekse de daha sonra yapılan çalışmalarda gri düzeyli görüntüler üzerinde de başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Matheron ve Serra [99]). Matematiksel morfolojinin temeli görüntüdeki objeleri bir küme şeklinde ifade edebilmektir. Örneğin; A referans görüntüsü ikili görüntü ise 0 ve 1 piksel değerine sahiptir. Bu görüntüde 1 ve 0 piksel değerine sahip olanları ayrı kümeler içinde toplamak için birleşim, kesişim ve fark küme operatörlerini kullanılarak görüntü kümesi vektör şeklinde ifade edilir.

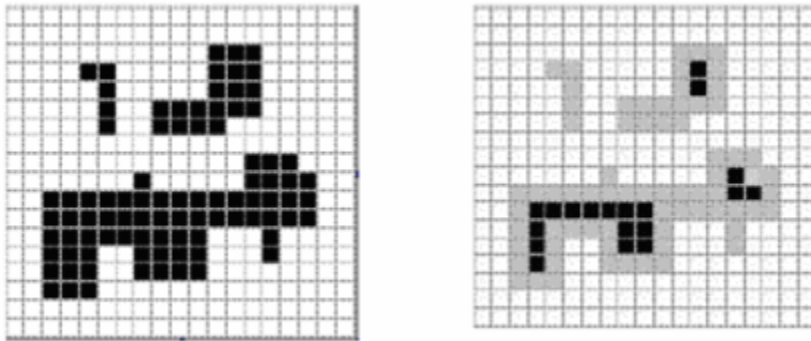
Morfolojik algoritmalarda amaç objenin iskelet yapısını yakalamak, bölgeleri doldurmak, objenin konturlarını ortaya çıkarmak ve görüntüdeki obje ve obje olmayanları ifade etmektir. Morfolojideki en temel iki operatör dilatasyon ve erozyondur. Dilatasyon görüntüdeki piksel değerlerin, objeyi daha iyi temsil edebilmesi için büyütülmesi, genişletilmesi anlamına gelir (Şekil 2.4). Bu şekilde ufak boşlukların tamamlanması ve objelerin boyutlarının artırılması işlemlerinde kullanılır. Dilatasyon işleminin tersi ise erozyondur Erozyon operatörü görüntüyü küçültme, daraltma amacıyla kullanılır (Şekil 2.5). Ayrıca, görüntüdeki istenmeyen ufak ayrıntıların ortadan kaldırılması ve objenin daha basitleştirilmesi için kullanılır. Morfolojik operatör işlemleri için B ile tanımlanabilen bir yapıtaşı elemanı ifadesi kullanılır. Görüntüye uygun olarak farklı yapı taşı eleman boyutları 3x3, 5x5, 7x7 gibi kullanılabilir. Bu operatörlerin matematiksel ifadesi (2.17) ve (2.18) denklemler ile ifade edilir [98].

$$A \oplus B = \{c | c = a + b, a \in A, b \in B\} \quad (2.17)$$

$$A \ominus B = \{x | x + b \in A, b \in B\} \quad (2.18)$$

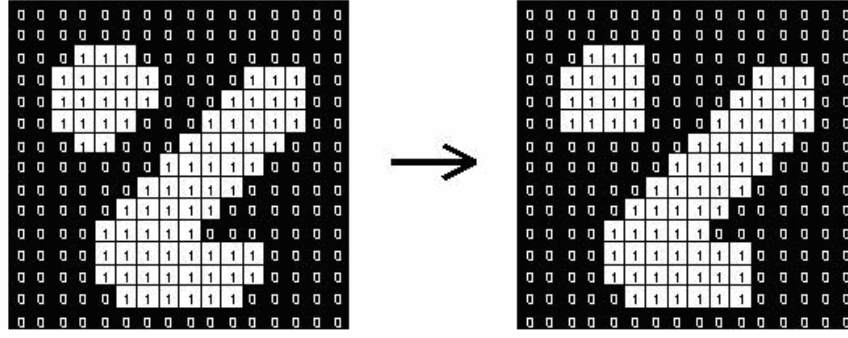


Şekil 2. 4 Dilatasyon işlemi [100].



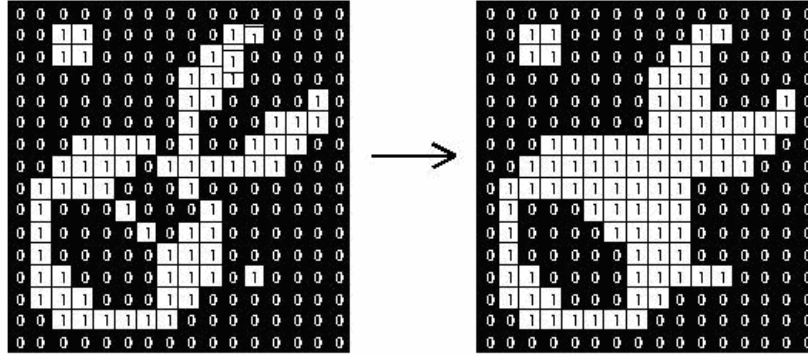
Şekil 2. 5 Erozyon işlemi [100].

Dilatasyon ve erozyon bire bir ters dönüşüm operatörleri değildir. Örneğin dilatasyon uygulanan bir görüntüye erozyon uygulandığında orijinal görüntü elde edilmez. Bu tür arka arkaya yapılan uygulamalar sonucunda ise karmaşık operasyonlar elde edilir. Bu tür karmaşık operatörlere ise açma ve kapama adı verilmektedir. Açma operasyonu, ilk olarak erozyon ve bu işleme takiben aynı yapı taşı elemanı kullanılarak dilatasyon operatörünün uygulanması işlemidir (Şekil 2.6). Kapama operasyonu ise, dilatasyon işlemini takiben erozyon işlemidir (Şekil 2.7). Açma işleminde, görüntü içerisindeki nesneler ve nesneler arasındaki boşluklar yapısal elemanın büyüklüğüne göre temizlenir. Görüntü üzerinde kalan nesneler orijinal görüntüdeki şekillerinden biraz daha küçük hale gelir. Açma işlemi ile birbirine yakın iki nesne görüntüde fazla değişime sebebiyet vermeden ayrılmış olurlar [92].



Şekil 2. 6 Açma işlemi [100].

Bir görüntüye önce dilatasyon sonra da erozyon işlemi uygulanırsa görüntüye kapanış işlemi uygulanmış olur. Dolayısıyla birbirine yakın iki nesne görüntüde fazla değişiklik yapılmadan birbirine bağlanmış olur. Kapanış işlemine tabi tutulmuş bir görüntü ve değişimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Kapama işlemi sonunda görüntü içerisindeki noktalar birbirlerini kapatırlar, görüntüdeki ana hatlar daha da dolgunlaşır. Genleşme işlemine benzer bir şekilde kapama işleminde de birbirine yakın olan noktalar arasındaki boşluklar dolar ve noktalar birleşir. Görüntü üzerinde kalan nesneler, orijinal görüntüdeki şekillerine bürünürler. [92].

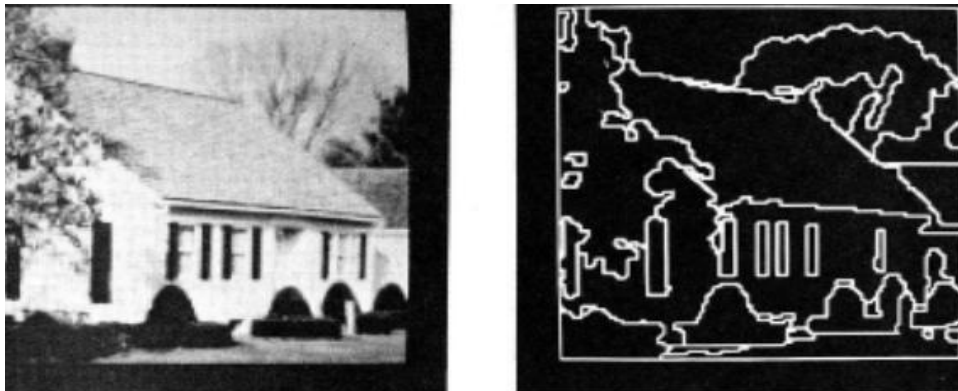


Şekil 2. 7 Kapama işlemi [100].

2.1.2.3 Segmentasyon

Görüntü segmentasyonun amacı görüntüyü anlamlı bölgeler oluşturmak için obje, bina ve benzer karakteristik özelliklere göre alanlara ayırma ve bölme işlemidir [83], [27]. 1980'li yılların sonunda görüntü yorumlama için önemli bir yöntem haline gelmiş ve görüntü analizi için ön işleme adımı olarak kabul edilmiştir. Bu dönemlerde yapılan çalışmalar Haralick ve Shapiro [84], Pal ve Pal [101] incelendiğinde, günümüzde kullanılan birçok farklı segmentasyon yönteminin temellerini oluşturduğu

gözlenmektedir. Segmentasyon yöntemi literatürde bazı çalışmalarda nokta ve bölge tabanlı olmak üzere iki kategoride toplanırken, doku ve kümeleme teknikleri segmentasyon altında bir grup olarak kabul edilir (Schenk [39]). Obje çıkarımında kullanılan eğim analiz yöntemi olan Zevenbergen ve Thorne [59], kümeleme için örnek verilebilir. Özellikle nokta bulutu ile yapılan çalışmalarda kümeleme yöntemi ve doku temelli yöntemler tercih edilir [27], [56], [102]. Bu durumda, segmentasyon yaklaşımı nokta tabanlı, piksel tabanlı, kenar tabanlı, bölge tabanlı ve karışık hibrit olmak üzere farklı sınıflarda incelenir. Nokta tabanlı segmentasyon olan eşikleme (tresholding) yöntemi için görüntü histogramı örneği gösterilebilir. Bu basit yaklaşım parlaklık değerlerini kullanarak görüntüye ait gri düzey histogramından uygun eşik değerler seçer ve görüntüyü bölgelere ayırır. Bu durum farklı değerler ile çalışıldığında sorun çıkarmazken, birden fazla aynı değere sahip noktalarda bu yöntemin başarı sağlamadığı gözlenmiştir. Histogram eşikleminin başarılı olarak çalıştığı bir başka örnek ise iç yöneltme aşamasında hava fotoğraflarındaki köşe çerçeve (fiducial) işaretlerinin otomatik yakalanmasıdır. Birinci aşamada, hava fotoğrafı ile çerçeve işaretinin olduğu koyu gri değerlere sahip çerçeve işareti gerçekleştirilen segmentasyon işlemi ile ayrılır. İkinci aşamada ise parlak değere sahip çerçeve işareti ile koyu değere sahip arka planın segmentasyonu ile çözüme gidilmiştir. Eşikleme yönteminin temeli, görüntü histogramından seçilen eşik değere dayanmaktadır ve mekansal bilgi içermez. Şekil.2.8’de örnek bir görüntünün ikonik ve segment şekli verilmiştir. Bu görüntüdeki gürültü ve bulanık kenar ise bu yöntemde karşılaşılan sorunlar arasındadır [103].



Şekil 2. 8 İkonik (a), segment (b) [103].

İkinci segmentasyon yöntemi ise kenar tabanlı yöntemdir. Bu yöntem, bir bölge ile diğer bölge arasındaki ani parlaklık veya gri değer değişimi olan yerleri bulmayı

amaçlar. Temel prensip ise gradient operatörleri uygulanarak iki farklı bölge arasındaki hızlı geçişleri, diğer bir deyişle kenarları yakalamaktır. Görüntüdeki kenarlar bulunduktan sonra, bu kenarların kapalı sınırlar şeklinde bölgeler oluşturulması gerekir. Bu yöntemde en zor ve halen üzerinde çalışmalar yapılan kısım ise görüntü kenarlarından görüntü sınırlarına geçiş aşamasıdır. Detayları bir önceki bölümde verilen gradient operatörlerine örnek olarak birinci türev; Roberts, Sobel, Prewitt, ikinci türev; Laplace verilebilir. Hough dönüşümü ise en yaygın kullanılan çizgi ve eğri yakalama algoritması olarak Curvilinear segmentasyonu altında literatürde yerini almıştır [83].

Üçüncü segmentasyon yöntemi olan bölge tabanlı yöntem ise kenar tabanlı yöntemi tamamlayıcı bir segmentasyondur. Burada, homojenlik kriterlerine göre belirlenen aynı değere sahip komşu pikseller birleştirilerek tek bir bölge ile temsil edilir. Homojenlik kriteri çoğunlukla eşik değere göre belirlenir. Bu durum seçilen kriterin doğru eşik değeri yansıtması açısından oldukça önemlidir. Doğru seçilemeyen eşik değer ve gürültü ise bölge tabanlı segmentasyon yönteminin önemli sorunlarıdır. Son segmentasyon yöntemi olarak hibrit, diğer bir ifade ile karma segmentasyon yöntemi kullanılır. Bu yöntem kenar ve bölge tabanlı yöntemleri içeren, farklı kombinasyonlar ile çözüm alternatifleri oluşturan algoritmaların bir bütünü şeklinde ifade edilir (Ilic ve Ulicny [104]). Morfolojik watershed segmentasyonu bu karma yöntemde örnek olarak verilebilir.

Otomatik obje çıkarımında, segmentasyon yöntemi kullanılarak görüntü homojen obje kümelerine; ölçek, bütünlük, şekil, eğim vb. özellikler ile ayrılır. Bu özellikler ile amaca uygun belirlenen aralık değerleri ve ağırlık parametreleri kullanılarak farklı seviyelerde segmentler üretilir (Dash vd. [105]). Oluşturulan segmentler anlamlı bölgeleri ifade eder ve birbirleri ile ilişkisi yoktur. Seçilen örnek bir piksele ilişkin parametre değeri, diğer tüm yönlerdeki pikseller ile karşılaştırılarak benzer özellikteki pikseller aynı bölge içine alınır. Bu segmentler ölçek parametresi, şekil, bütünlük, parlaklık, kontrast farkı ve istatistik parametre değerlerine göre oluşturulur (Navulur [41]). Segmentlerin, objeleri doğru temsil etmesi için obje çıkarımında tercih edilen segmentasyon yöntemleri ise satranç tahtası, çoklu çözünürlüklü ve kontrast ayırma segmentasyonudur. Satranç tahtası segmentasyonu basit segmentasyon yöntemlerinden biridir. Objeleri istenen büyüklükte karelere bölme işlemini

gerçekleştirir. Bu şekilde daha küçük görüntü objeleri oluşturarak detaylı bir analiz yapılmasına olanak tanınmış olunur. Satranç tahtası segmentasyonu algoritması, görüntüyü küçük kare gruplara ayırarak, birbirini kesen eşit aralıklı grid yapılar oluşturur [106]. Bu şekilde görüntü istenilen amaca uygun şekilde kare segmentlere ayrılmış olur. Dörtlü ağaç segmentasyonu, görüntüyü dörtlü ağaç tabanlı grid yapısına göre görüntüyü gruplara ayırır. Bu segmentasyonun algoritması, tanımlanan ölçek değeri ve piksellerin homojenlik kriterine göre her bir kareye mümkün olduğu en yüksek değeri atanması ile gerçekleştirir. Bu şekilde görüntüde segmentler oluşturulur. Çoklu-çözünürlük segmentasyon algoritması ise görüntü nesnelerin ortalama heterojenliğini en aza indirgeyen deneyimsel bir optimizasyon işlemidir [107]. Bu segmentasyon yönteminde farklı ölçek, şekil ve bütünlük parametreleri kullanılır. Ölçek faktörü spektral homojenliği dengelerken, bütünlük faktörü bütünlük ve yumuşaklık dengelemesini yaparak, yumuşak kenarlar ve bütün kenarlara bağlı olarak objenin şekli belirlenmektedir [108]. Ölçek parametresi, segmentasyon aşamasında kullanıcının istediği ölçü seviyesinin belirlenmesinde anahtar rol oynar. Ölçek değeri, yapılan için amacına göre belirlenir. Görüntüde, homojen obje yaratırken geniş alanların yakalanması için büyük, daha detay alanlar için ise daha küçük ölçek değerleri analiz edilerek seçilir. Objelerin birbirinden ayrılması için birden çok görüntüyü belirlenen ağırlık değerlerine göre dikkate alarak işlem gerçekleştirir. Bu durum Çoklu çözünürlüklü segmentasyonun renkli görüntülerdeki bant değerlerini ayrı ayrı ele alabilme avantajının yanında Canny, Hough vb. algoritmalar ile elde edilmiş kenarları belirgin görüntüleri de aynı segmentasyon içinde değerlendirme imkanı sunar. Böylece sadece tek bir görüntü baz alınarak gerçekleştirilen segmentasyondaki hataların önüne geçilmiş olunur. Kontrast ayırma segmentasyonu kontrast metodu parlak ve koyu kontrasta sahip objelerin yakalanması için kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritma olası obje sınırlarını yakalamak için kullanılır. Örneğin a değeri ortalama parlak sınır piksellerini ve b değeri ise ortalama koyu sınır piksel değerini gösterirse; Kenar oranı denklem $(a - b/a + b)$ şeklinde hesaplanır.

Görüntüdeki objeleri birbirinden ayırma aşamalarında karşılaşılan sorunlar dikkate alınarak, alternatif çözümler için farklı segmentasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Basit segmentasyon olan histogram eşitleme ile başlayan, k means kümeleme algoritması,

ayırma-birleştirme (split&merge) algoritması, Watershed, bölge genişletme, (region-growing), satranç tahtası (chess-board), dörtlü ağaç (quad-tree), kontrast ayırma, çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve kenar yakalama ile devam eden gelişim, günümüzde yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile paralel olarak çalışan hibrit segmentasyonlar ile kendini göstermektedir. Segmentasyon yöntemi özellikle obje çıkarımının önemli adımı olan obje yakalama aşamasında sınıflandırma öncesi oluşturulan segmentler ile sınıfların anlamlı ve doğru çıkarımında etkili bir rol oynamaktadır.

2.1.3 Sınıflandırma

Görüntü sınıflandırma yöntemi yaygın kullanılan bilgi çıkarım yaklaşımıdır. Bu yöntem bilgi edinme, genelleştirme, ayırma ve karar verme işlemi olarak tanımlanabilir. Bir veri grubu içinde belirli bir sınıf oluşturan objelerin, benzerliğinden yola çıkarak, özelliklerine göre gruplandırılması ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir [81]. Otomatik sınıflandırma verilen bir obje kümesi içinde benzer özellikleri kullanılarak, objelerin homojen sınıfları oluşturmaları için matematik ve istatistik yöntemler ile gerçekleştirilen otomatik bir işlemdir. Sınıflandırma yöntemi ile daha anlamlı ve sorgulanabilir objelerin çıkarılması sağlanır [16], [27]. Genellikle, örnek tabanlı sınıflandırma ve bulanık küme sınıflandırıcıları ile sınıflandırma yöntemleri tercih edilmektedir. Örnek sınıflandırma yöntemi en yakın komşu yöntemidir. Sınıfı bilinen yeterince örnek piksel ya da bunlarla ilgili olasılık dağılım bilgisinin bulunmadığı durumlarda, kümeleme denen yöntemler kullanılır. Spektral olarak ayrılabilen sınıflar belirlenir ve bu sınıflara ait bilgi tespit edilir. Sınıflandırma yöntemi kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma şeklinde iki gruba ayrılır ve veri işleme yöntemlerine göre; nokta, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma şeklinde üç başlıkta toplanır.

Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma, kullanıcı müdahalesi olmadan otomatik olarak gruplandırılması temeline dayanmaktadır. Bu yöntem karar kuralı olarak, minimum uzaklığı kullanır. Kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analyses Technique) tekrarlı veri analiz yöntemidir. Bu yöntem, tekrarlı olarak tüm sınıflandırmayı gerçekleştirme ve uygulanan her iterasyon sonrasında yeniden istatistik hesaplamasını temel alır.

Kullanıcının sınıf sayısı belirlemesiyle sınıflandırma işlemi otomatik olarak yapılır. Otomatik obje çıkarımında ise genellikle doğruluk analizi kısmında referans veri ile otomatik çıkarılan vektör verinin bütünlük ve doğruluk analizi yapılması için uygulanan ön aşamadır. Böylece kontrolsüz sınıflandırma yöntemi kullanılarak, görüntü arka plan ve objeler şeklinde iki ayrı sınıfa atanır. Bu yeni oluşturulan görüntü doğruluk bilgisi için analiz edilir.

Kontrollü Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırmada görüntüdeki hedef sınıflar önceden belirlenir. Klasik sınıflandırma işleminde, görüntüden bu belirlenen sınıflara ait denetim alanlarının seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim için gerektiğinde arazide yer gerçekliği yapılması zorunludur. Denetim alanlarının seçimi sınıflandırmanın doğruluğunu etkileyen bir aşamadır. Uygulamada sık karşılaşılan sorunlardan biri ise sınıfların birbirlerine karışmasıdır. Bunun nedenlerinden biri de denetim alanlarının ölçümünde yapılan hatalardır. Otomatik obje çıkarımında ise klasik sınıflandırma işlemindeki gibi denetim alanları manüel olarak seçilmez. Buna karşılık hedef sınıflarına ait parametreler analiz edilir ve bu parametrelere göre kurallar oluşturularak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Sınıflandırma yöntemi, nokta, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma şeklinde kullanılır.

2.1.3.1 Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Nokta tabanlı sınıflandırma yöntemi nokta temelli olarak çalışmaktadır. Amaç, objeleri temsil eden homojen özelliklere sahip noktaları aynı grup altında toplayarak sınıf oluşturmaktır. Bu yöntemin kullanımı özellikle gelişen lazer tarayıcı teknolojisi ile yaygınlaşmıştır. Lazer tarayıcılar ile gerçekleştirilen tarama işlemi ile çok kısa bir sürede geniş alanların üç boyutlu nokta kümesi şeklinde elde edilmesi mümkündür [110]. Ham nokta bulutu ön işlem gerektirir. Bu ön işleme adımları dört adımda özetlenebilir (Dorninger ve Pfeifer [107]).

1. Filtreleme,
2. Gürültü azaltma,
3. Boşluk doldurma,
4. Kenar çıkarma

Havadan lazer tarayıcı sistemlerden elde edilen nokta bulutu ile bilim adamları için ilk amaç yer yüzeyini otomatik veya yarı otomatik çıkarımı olmuştur (Sithole [27]). Ayrıca, yersel lazer tarayıcılar ile de tarihi ve kültürel yapıların belgelenmesi ve üç boyutlu modellenmesinde bu yöntem kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Nokta tabanlı sınıflandırma yönteminin gölge sorunu olmaması, üç boyutlu çalışma ile derinlik bilgilerinde yüksek başarı avantajı sağlamaktadır. Bu avantajına karşın, milyonlarca detay noktası ile işlem süresinin artması, siyah objelerde ve cam gibi geçirgen objelerde yansıma sorunları oluşmaktadır. Bu şekilde yanlış noktalar ile oluşturulan segmentler ile objeler doğru temsil edilememektedir. Nokta tabanlı sınıflandırmanın dezavantajlarından biri de mesh yaratma aşamasında hataların oluşmasıdır.

2.1.3.2 Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Piksel tabanlı sınıflandırma, 1970'li yıllarda çok bantlı görüntülerin işlenmesiyle ilk kez geliştirilmeye başlanmış bir yöntemdir [92]. Objelerin yansıma değerleri kullanılarak sınıflandırma yapılmaktadır. Bir pikselin ait olduğu sınıfa atama işlemi o piksele ait görüntü üzerindeki spektral yansıma değerine göre yapılır. İstatiksel olarak her piksel benzer karakteristik özellik taşıyan gruba atanmaktadır. En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) yöntemi yaygın kullanılan kontrollü sınıflandırma algoritmasıdır. Bu algoritma, spektral farklılıklardan yararlanarak işlem yapmaktadır. Bu yöntem her pikselin bir sınıfta olması olasılığına dayanmaktadır. Pikseller, üyelik olasılığı en yüksek olan sınıfa atanır (Mather [111]). Ancak bu yaklaşımın başarısı benzer spektral bilgilere sahip objelerde sınırlıdır (Gao [71]).

En yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemi piksel tabanlı sınıflandırmadır. Son yıllarda, klasik piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin dışında nesne tabanlı sınıflandırma da kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar, nesne tabanlı sınıflandırma sonuçları piksel tabanlı sonuçlara göre daha başarılı sonuç vermesi gelecek vadeden ve klasik yöntemlerdeki sorunları çözmek adına umut veren bir yöntem olarak görülmeye başlanmıştır [41].

2.1.3.3 Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

Nesne tabanlı görüntü analiz yöntemi görüntüdeki şekil, renk, doku vb. ayırt edebilecek özellikleri dikkate alarak, objeleri yakalamaya yönelik bir sistem öngörür. Bu sistem ile görüntüdeki bina, ağaç, araba gibi farklı objeleri ayırt edebilme imkanı sunmaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır. Segmentasyon yöntemi ile görüntü hedef sınıfların aynı segmentlerde toplanmasına olanak sağlarken, ikinci aşama olan sınıflandırma ile objeler sınıf haline dönüştürülür.

Nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımına göre bir obje, benzer spektral ve mekansal özelliklere sahip bir piksel grubu olarak tanımlanır. Bu yaklaşımda, objeleri temsil eden segmentler; şekil, doku, komşuluk ilişkisi, morfolojik ilişkiler, alan, yükseklik değeri, mesafe, geometrik şekil, standart sapma, yoğunluk vb. değerleri kullanılarak analiz edilir ve hedef sınıflara atanır. Bu bilgilerin çoğu nesne tabanlı sınıflandırma yöntemine özgüdür, piksel tabanlı sınıflandırma yönteminde kullanılamazlar. Objeye ait farklı özellikler kullanılarak daha doğru sınıflandırma sonuçları elde edilir (Hofmann [56]). Bu sebeple, klasik yaklaşım olan piksel-tabanlı sınıflandırmanın yanında, nesne-tabanlı sınıflandırma yaklaşımları kullanımı gün geçtikçe artmaya başlamıştır. Bunun önemli nedenlerinden biride, yüksek çözünürlüklü görüntülerde mevcut olan zengin bilgi içeriğinin, piksel-tabanlı sınıflandırma yaklaşımları sonucunda tam olarak yansıtılamaması olarak gösterilir (Navulur [41]). Ayrıca, klasik yöntemler ile yapılan çalışmalarda; ağaçlar ve binaların karışması, gölgelerin yanlış sınıf grubunu ifade etmesi, yollar ve çatıların karışması gibi karmaşık sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Örneğin; nesne tabanlı yaklaşım ile oluşturulan belirli sayıda poligonlar ile sınıf belirlemek, piksel tabanlıda yüzlerce piksel değeri ile karşılaştırıldığında, nesne tabanlı sınıflandırma çok daha hızlı ve doğruluğunun değeri yüksek sonuç vermektedir (Navulur 41). Doğruluk değerinin yüksek olması, objelerin aynı sınıfa dahil edilirken sadece gri değerlere göre değil, objenin sahip olduğu birden çok özelliğinde dikkate alınarak, aynı sınıfa dahil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Objelerin ortalama değer ve standart sapma gibi farklı spektral özelliklerinden yararlanarak obje özelliklerinin varyasyonları yakalanmaktadır. Konum özellikleri dikkate alınarak; alan, uzunluk, sınır kalınlığı, yükseklik, eğim analizi ve yön parametrelerinden yararlanılarak obje çıkarımı

gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, spektral değerleri birbirine çok yakın olan objelerin sınıflandırılmasında, nesne tabanlı sınıflandırma ile bulanık mantık yöntemi beraber kullanılır (Rottensteiner ve Clode [14]).

2.1.3.4 Kural Tabanlı Sınıflandırma

Sınıflandırma yönteminde karşılaşılan sorunların giderilmesi ve doğruluğa etkisinin minimum seviyeye düşürülmesi için alım teknikleri geliştirilmekte, bulanık mantık ile desteklenen kontrollü sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu amaçla, nesne tabanlı, bilgisayar destekli ve insan beyni gibi çalışabilen uzman sistemler ile otomatik obje çıkarımı üzerine çalışmalar sürmektedir. Bu sistemler henüz tam anlamıyla başarı sağlamamış olsa bile, bu sistemlerin ilk adımı olan kural tabanlı sınıflandırma üzerinde başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Kural tabanlı sınıflandırma yöntemleri ile objelerin birbirinden ayrılıp, aynı sınıf altında toplanabilmesi için geliştirilen kurallar genelden özele indirgenerek, objelerin otomatik olarak çıkarımı sağlanır (Kim [79], Kalkan ve Maktav [73]).

Günümüzde otomatik obje çıkarımında kural tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Blaschke [65]). Sayısal görüntü işleme ve obje çıkarımında başarılı olduğu kabul edilmiş birden çok yöntemin, bir algoritma ile geliştirilerek kural şeklinde ifade edilmesi ile yapılan çalışmalar ön plana çıkmıştır. Bu kurallar ile farklı yaklaşımlar geliştirilmesine örnek olarak Rottensteiner vd tarafından [37] de verilen çalışmada geliştirdiği Dempster-Shafer yaklaşımı verilebilir. NDVI yöntemi, Canny kenar yakalama, Hough dönüşümü, SYM, YM fark yöntemi ve Zevenbergen&Thorne eğim analizi gibi birden çok yöntem kullanılarak kurallar oluşturulur. Önemli olan bu kuralların, analiz edilerek uygun parametreler yardımıyla, amaca uygun şekilde kullanılmasıdır. Geliştirilen algoritma mantığına göre kuralların nerde ve ne zaman kullanılacağına karar vermek önemlidir. Geliştirilen kural setinin hızlı, doğru ve kullanılabilir olması, oluşturulan yaklaşımın başarısını temsil etmektedir. Bu kurallar geliştirilirken, tek başına başarı sağladığı kanıtlanmış bir yöntemin kural setinde farklı şekilde kullanılması ile kural seti zenginleştirilebilir. Bu tarz yeniliklerde, kural setinin geliştirilmesine ve otomatik obje çıkarımı konusuna katkı sağlar. Örneğin; Hough dönüşümü ile elde edilen görüntünün tek başına kullanımına birçok yayında rastlamak

mümkün iken bu görüntünün segmentasyonun içinde farklı ağırlık değeri verilerek bina iyileştirilmesinde kullanılması şeklinde bir uygulamaya henüz rastlanmamıştır. Aynı durum Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen görüntü içinde geçerli olup farklı test alanlarına ait görüntüler üzerinde analiz yapılırken iyi sonuç vermesi sonucunda kullanılmıştır.

Nesne tabanlı görüntü analiz yönteminde, bulanık mantık yöntemi, sınıflandırma teknikleri arasında kullanılan güçlü bir sınıflandırıcıdır (Navulur [41]). Bu sebeple otomatik obje çıkarımında özellikle segmentasyon ve kural tabanlı sınıfların oluşturulmasında tercih edilen bir yöntemdir. Bu kurallar geliştirilirken oluşturulan bir sınıfa ileriki adımlarda tekrar müdahale edilme imkanı sağlanması, birden çok segmentasyon ve sınıflandırmanın kullanımı ile sağlanır. Oluşturulan kurallar kendi içlerinde de uyumlu ve belirli bir düzene göre oluşturulmalıdır. Örneğin; çatılardaki bina ile yeşil alan karışmasından doğan eksiklik veya fazlalık bir sonraki kural ile farklı özellikler (alan, simetri, yakınlık, uzaklık vb.) kullanılarak giderilir.

Bulanık Mantık ile Sınıflandırma

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı 1960'lı yıllarda California Berkeley Üniversitesinde çalışmalarını sürdüren bilim adamı Prof. Lutfü A. Zadeh tarafından ortaya çıkmıştır. Günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin matematiksel bir ifade ile tanımlanmasında bir çok uygulama alanında kullanılma imkanı bulan önemli bir karar vericidir. Bu karar verici sistem Zadeh tarafından [112] de verilen çalışmaya göre çoklu değerlilik, özellikle görüntü sınıflandırma işlemlerinde kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bulanık mantık ile sınıflandırma, uzman sistemlerce kullanılan bir olasılık yaklaşımı şeklinde ifade edilir ve insan yorumlama gücüne yakın bir yorumlamayı bilgisayara aktarılabilmeyi hedefler. Bulanık mantık ile klasik mantık (Aristo mantığı) arasındaki temel fark klasik mantığın önermelerin tek, sınır ya da limit olarak tanımlanabilen değerleri kullanmasıdır. Aristo mantığında bilindiği gibi bir piksel, segment ya da obje değeri bina kümesinin elemanıdır ya da değildir. Bulanık küme kavramında ise, klasik kümelerde kullanılan “bina” veya “bina değildir” ifadesi yerine belirlenen üyelik derecesine göre bina olma olasılığı belirlenir. Bu sınıflandırma işlemi bulanık küme kavramı ile oluşturulur. Bir pikselin, segmentin ya da objenin, “bina olma

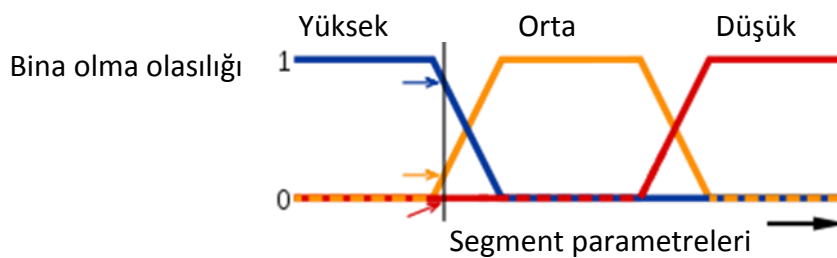
durumu” (1) ve “bina olmama durumu” (0) ile değil, (1) veya (0)’a yakın olma derecesi ile gösterilir.

Elemanlar karakteristik fonksiyonları f_A cinsinden ifade edildiğinde, (2.19) eşitliği ile tanımlanmaktadır. Bir bulanık küme μ_A üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir (2.20). Bu X uzayına ait bu kümede her bir x elemanı $[0,1]$ aralığında değerler alır (Zadeh [112]).

$$f_A = \begin{cases} 1 \longrightarrow x \in A \\ 0 \longrightarrow x \notin A \end{cases} \quad (2.19)$$

$$A = \{ (x, \mu_A(x) \mid x \in X \} \quad (2.20)$$

Bulanık kümelerinin en büyük özelliği belirsizlik içeren sözel ve sayısal bilgi ile verileri aynı anda insan aklına en yakın biçimde modelleyebilmesidir. Günümüz teknolojisinde çok yaygın olarak karşımıza çıkan akıllı ve uzman sistemlerle otomasyonda, belirsizlik ortamında en iyi karar verebilme ve modellemenin temelinde bulanık mantık önerme ve çıkarımları bulunur. Klasik mantıkta bir önerme “doğru” ya da “yanlış” olarak ifade edilir. Üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkansız olduğu varsayılır. Sözel olarak ifade edilen {Yanlış, Doğru}, sayısal olarak {0, 1} ifadesi, Bulanık mantığın ‘doğru’ ve ‘yanlış’, dahil olmak üzere bu ikisinin arasında her değer (‘çok doğru’, ‘çok yanlış’, v.b.) olabileceğidir. Şekil 2.9’a göre segment parametre değerlerine göre yapılan sınıflandırmada bina olma olasılığının yüksek, orta ve düşük değerlere göre sınıflandırılmasını göstermektedir.



Şekil 2. 9 Bulanık mantık ile bina segmentlerinin sınıflandırılması

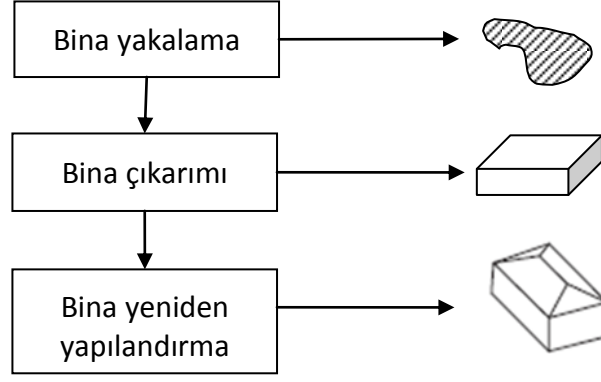
Otomatik obje çıkarımında kullanılan bulanık mantık ile sınıflandırma işleminde, (0.0) ve (1.0) sayıları arasında gerçel değerler kullanarak üyelik dereceleri hesaplanır. Nitelik değerleri bulanık değerlere dönüştürülerek, kurallar kümesi oluşturulur. Yeni bir örneği sınıflandırmak için birden fazla kural kullanılır ve her kuraldan gelen sonuç toplanır. Bu

şekilde gerçekleştirilen doğruluk önermeleri ile objeyi temsil eden segmentin, oluşturulan sınıflardan hangisine en yakın olduğu, üyelik derecesine göre belirlenerek ait olduğu sınıfa atanır. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçları, oluşturulan segmentlerin hangi objeyi temsil ettiği daha doğru şekilde hesaplanır.

Bulanık sınıflandırma sistemleri, uzaktan algılama veya fotogrametrik görüntülerden bilgi elde edilmesi aşamasında birçok belirsizliği ortadan kaldırabilen bir yapıdadır. Ayrıca, parametre ve model belirsizlikleri, üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanarak bulanık ayarlamalar ile analiz edilir ve doğru sınıf oluşturulmasında etkili rol oynarlar. Böylece, otomatik obje çıkarımlarında özellikle yaygın bir çalışma alanı olan bina çıkarımında bulanık mantık ile yapılan sınıflandırmalar, sınıf karışıklıklarını gidermek ve doğru bina sınıfını çıkarmak için tercih edilmektedir.

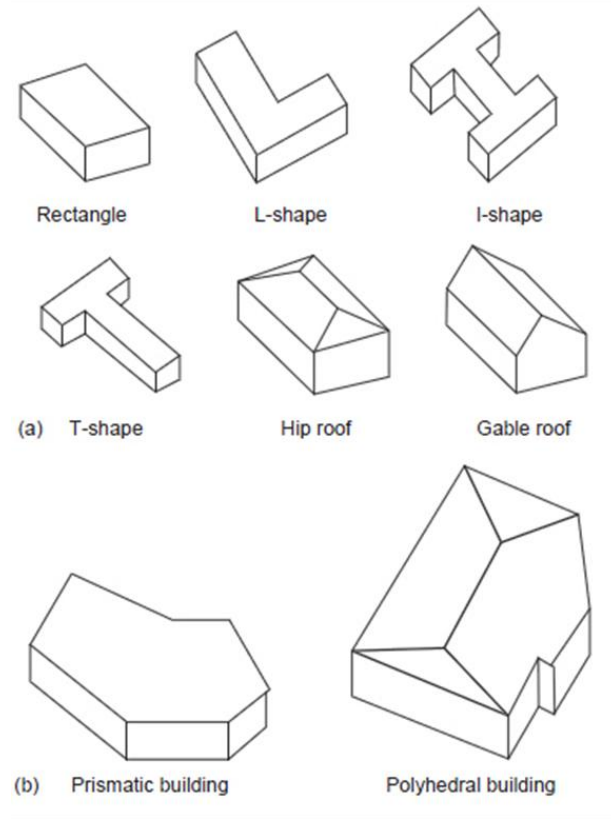
2.2 Obje Çıkarımının Özel Hali: Bina Çıkarımı

Kentsel alanlardaki binaların otomatik olarak çıkarımı, kentin sorunlarının çözümü, kentin gelişimine ilişkin kritik kararların verilmesi, 3B kent modellerinin oluşturulması, kaçak yapılaşmanın takibi ve önlenmesi gibi konularda oldukça önemli bir rol almaktadır. Özellikle otomatik bina çıkarımı ile elde edilen sonuç ürünler, CBS ve CAD sistemlerinde kullanılır. Fotogrametri ve uzaktan algılamada bina çıkarımı, 3B kent modellerini ve detaylı bina modelleme konularının da ayrıca temelini oluşturmaktadır. Bir bina objesinin işlenmesi; bina yakalama, bina çıkarımı, bina yeniden yapılandırma işlemlerinden oluşmaktadır (Ameri [80]). Şekil 2.10'da ise Sohn vd. tarafından verilen [110] da bina modeli elde etme işleminin hiyerarşik adımlarını ifade etmişlerdir. Bina çıkarımı işlemi, bina sınırlarının tespit edilerek, konturların anlamlı şekilde oluşturulması işlemini kapsamaktadır. Bina sınırlarının 2B veya 3B şeklinde çıkarılması aşamasından sonra, yakalanan objenin şeklinin yeniden oluşturulması özellikle çatı modeli genelleştirilen çatı şekillerinden en uygun şekilde temsil edilen geometrik şekil seçilerek bina modelleme işlemi tamamlanmaktadır (Sohn vd. [113]).



Şekil 2. 10 Bina modelleme işlem adımları [113]

Bina çıkarımı obje çıkarımının özel bir hali olarak ifade edilebilir. Bu durumda obje çıkarımında kullanılan görüntü analiz yöntemleri bina çıkarımı içinde geçerlidir. Bina çıkarımı parametrik ve prizmatik model olarak iki grupta toplanabilir. Parametrik modeller basit binaların çıkarımı için kullanılır. Genellikle yükseklik, en, boy ve uzunluk parametreleri yardımıyla tanımlanır. Bu parametreler birden fazla yükseklik ve uzunluk ile tanımlandığında, binanın simetrik olup olmaması ve çatı tipine göre düz, ortası eğimli, uçları ve yanları eğimli vb. parametreler ile binaların tanımlanması sağlanır (Morgan [114]). Bu model karmaşık yapılarda sınırlı olarak kullanılır. İkinci bina çıkarım model ise prizmatik model olarak tanımlanır. Bu model iki kısımdan oluşur. Birinci kısım, zemin planının, her segmentin ana hatlarını vektör şeklinde çıkarımıdır. İkinci kısım ise yükseklik bilgisinin çıkarımıdır [114], [115]. Bu modelde binalar kapalı poligon şeklinde temsil edilir. Parametrik bina modeli için; dikdörtgen, L-şekli, I-şekli, T-şekli, eğimli çatı (hip roof) ve üçgen çatı (gable roof) gibi basit perspektif modeller kullanılır [110], (Şekil2.11a). Ayrıca, prizmatik ve polyhedral bina şekilleri gibi farklı modellerde görülmektedir (Şekil2.11b).



Şekil 2. 11 Bina modelleri [110]

Bina çıkarımında bina ve bina olmayan objelerin ayrımı önemlidir. Bina sınıfı ile yeşil alan sınıfı ayırımında yaygın olarak (2.21) denklemi ile verilen NDVI yöntemi kullanımı tercih edilir. Bu yöntem ile yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant farkının yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant toplamına oranı ile yeni bir görüntü elde edilir. Bitki örtüsünün kızılötesi bantta yüksek, görünür kırmızı bantta düşük yansıma değeri kullanılarak yeşil alan ve bina sınıfı birbirinden ayrılır.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (2.21)$$

NDVI = Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi

NIR = Yakın Kızılötesi bant

RED = Kırmızı bant

Otomatik bina çıkarımında, bina sınıfı ile karışan sınıfların birbirinden ayrılmasında kullanılan diğer bir yöntem ise eğim analizi yöntemidir. Bu yöntem sayısal yüzey modeli kullanılarak (2.22) denklemi yardımıyla Eğim görüntüsünün oluşturulmasında kullanılır [59], [43]. Eğim görüntüsü ile görüntüdeki yükseklik farkı değişiminden yararlanılarak, aynı eğim değerine sahip obje konturları tespit edilir. (2.23)'de verilen denklemler kullanılarak (2.24) eşitliği yardımıyla eğim görüntüsü oluşturulur. Böylece, bu konturlar yer yüzeyi ve diğer sınıfların ayrılma aşamasında kullanılır.

$$\begin{array}{ccc} & & x \\ \begin{array}{c} a \\ d \\ g \end{array} & \begin{array}{c} b \\ e \\ h \end{array} & \begin{array}{c} c \\ f \\ i \end{array} \\ & & y \end{array}$$

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= c - a & \Delta y_1 &= a - g \\ \Delta x_2 &= f - d & \Delta y_2 &= b - h \\ \Delta x_3 &= i - g & \Delta y_3 &= c - i \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3s_x}, \quad \Delta y = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3}{3s_y}, \quad \Delta z = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{2} \quad (2.23)$$

$$\Delta z \leq 1, \quad \%Eğim = (\Delta z \times 100) \quad (2.24)$$

2.3 Doğruluk Analizi

Sınıflandırılmış görüntünün doğruluğu, karar verme mekanizmaları açısından önemlidir. Sınıflandırma sonucunun doğruluğu çeşitli istatistiksel analizlerin ardından belirlenir. Arazi kullanımı ve kullanıcının tercih ettiği obje çıkarım yöntemi doğruluğu etkileyen etmenlerdir (Navulur [41]). Doğruluk analizi, farklı yöntemler kullanılarak yapılır. Literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında örnek alanların seçimi ve Kappa analizi ile gerçekleştirilen doğruluk analizi yer alır (Congalton ve Green [116]). Otomatik bina çıkarımlarında ise daha çok bütünlük ve doğruluk analizleri ile bir binanın eksiklik ve bütünlüğü dikkate alınarak, o binanın doğruluğu belli bir yüzde ile

hesaplanır [117], [43]. Doğruluk analizinde kullanılan bu iki yöntem detaylı bir şekilde bölümün alt başlıklarında açıklanmıştır.

2.3.1 Örnek Alanların Seçimi ve Kappa

Doğruluk analizinin yapılabilmesi, örnek alanların seçilmiş olmasına bağlıdır. Etkili bir örnekleme yöntemi için, yeterli miktarda örnek alan ve matematiksel sonuç verebilecek yeterlilikte numune gereklidir. Örnek alanlar, olasılık teorisinin kuralları açısından ölçülebilir nitelikte olmalıdırlar (Navulur [41]). Doğruluk analizinde (The Error Matrix) Hata Matrisi yöntemi çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Congalton ve Green [116]). Bu yöntem, genel doğruluk ve Kappa analizleri ile sonuçların değerlendirilme imkanı sunar. Sınıflandırma işleminde genel doğruluk ve Kappa katsayısı (2.25) verilen denklem değerlerine göre analiz yapılır. Genel doğruluk, hata matrisinin içerisindeki büyük diyagonal toplamından elde edilen toplam doğruluğun hata matrisindeki toplam sayıya bölünmesinden hesaplanır. Kappa katsayısı ise hata matrisinin satır ve sütun toplamaları ile köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak hesaplanmaktadır [41], [116]. Sonuçta bulunan Kappa değerleri [0-1] arasındadır. Bu değer (0.00) ise sınıflandırılmış ve referans verileri arasında uyum olmadığını, (1.00) ise tam uyumlu olduğunu gösterir. Literatürde kabul edilen Kappa değeri (0.75) ve fazlası sınıflandırma performansının iyi olduğunu, (0.40)'ın altında ise performansın yetersiz olduğunu gösterir (Congalton ve Green [116]).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (2.25)$$

r = Sınıf sayısı

x_{ii} = Hata matrisinin köşegen elemanları

x_{i+} = Satır toplamı

x_{+i} = Sütun toplamı

N = Hata matrisindeki toplam piksel sayısıdır.

2.3.2 Doğruluk ve Bütünlük Analizi

Otomatik olarak çıkarılan binaların doğruluk analizinde temel yaklaşım, sınıflandırma sonucu elde edilen verinin referans veri seti ile karşılaştırılması ve sonuçların istatistiksel analizine dayanır. Doğruluk analizinde kullanılan diğer bir yaklaşım ise bütünlük ve doğruluk analizleridir. Obje çıkarımında kullanılan doğruluk analizi ölçütleri eksik ve fazla bulunan bina bölümlerine ait piksel sayısına bağlı istatistiksel indislerdir. Bu yöneme ilişkin temel yaklaşım (2.26) ve (2.27) eşitliğinde verilmiştir (Rottensteiner vd. [35]). Bu yöntemde, TP bina sınıfı için iki veri setinde de doğru çıkarılan piksel sayısını ifade eder. FN referans verisinde bina olarak yer alan ancak otomatik çıkarılan veri setinde sınıflandırılmamış piksel sayısıdır. FP ise otomatik çıkarılan veri setinde bina olarak sınıflandırılan ancak referans veri setinde bina olmayan yanlış piksel sayısı olarak tanımlanır (Rutzinger vd. [70]). Bu ifadelerden yararlanarak bütünlük ve doğruluk analizleri ile otomatik çıkarılan binaların kontrolü yapılır.

$$\text{Bütünlük} = TP / (TP + FN) \quad (2.26)$$

$$\text{Doğruluk} = TP / (TP + FP) \quad (2.27)$$

TP= Doğru çıkarılan (True Positives)

FP= Yanlış çıkarılan (False Positives)

FN= Yanlış ve eksik çıkarılan (False Negatives)

ÇOKLU ALGILAMA SİSTEMİ; LiDAR, GPS/IMU ve SAYISAL KAMERA

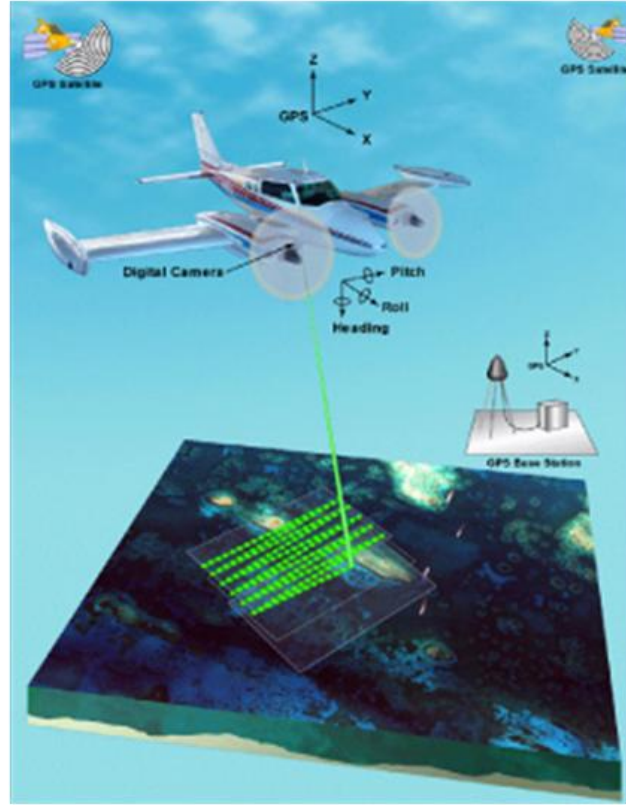
Son yıllardaki teknolojik ilerlemeler Fotogrametri ve Uzaktan Algılama alanında yeni algılama sistemlerinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Çoklu algılama sistemi, aynı platform üzerine yerleştirilen LiDAR, Sayısal Kamera ve GPS/IMU sistemlerinden oluşmaktadır. Bu sistem, üç boyutlu nokta bulutu ve intensity verisi sağlayan lazer tarayıcı sistem olan LiDAR (Light Detection and Ranging) ile yüksek ayırma gücü ve radyometrik çözünürlüğe sahip Sayısal Hava Kameraların “Charge Couple Device” (CCD) bütünleşik kullanım imkânı sağlar. Ayrıca, veri kaydı sırasında algılama sistemlerinin yöneltilmesi için gerekli olan konum ve dönüklük bilgilerinin doğrudan belirlenmesini olanaklı hale getiren GPS ve IMU (Inertial Measurement Unit) sistemlerini de içeren bütünleşik bir sistemdir.

Çoklu algılama sistemi, otoban, demiryolu, boru hattı güzergahları ve enerji nakil hatları gibi koridor haritalarının yapımı, yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modellerinin (SYM), ortofoto ve üç boyutlu kent modelleri üretimi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu sistem ile kaydedilen görüntü ve veriler sel, su baskını, deprem ve toprak kayması gibi doğal afetlerin hemen sonrasında mevcut durumun tespitinde kullanılır (Lane vd. [118]). Ayrıca bu veriler yol, bina (Haala ve Brenner [9]), farklı nitelikteki yeryüzü bitki örtüsü objeleri ve hareketli nesnelere ilişkin objelerin çıkarılması [110], proje alanına ilişkin bitki örtüsü değişimi, erozyon ve toprak kayması gibi doğal afetlerin izlenmesinde (Lane vd. [118]) de kullanılmaktadır. Otomatik obje çıkarımı konusunda yapılan birçok çalışmada ([27], [19], [62], [43], [70]) sınıf karışıklıklarının giderilmesi, hedef sınıfların iyileştirilmesi ve sınıflandırma

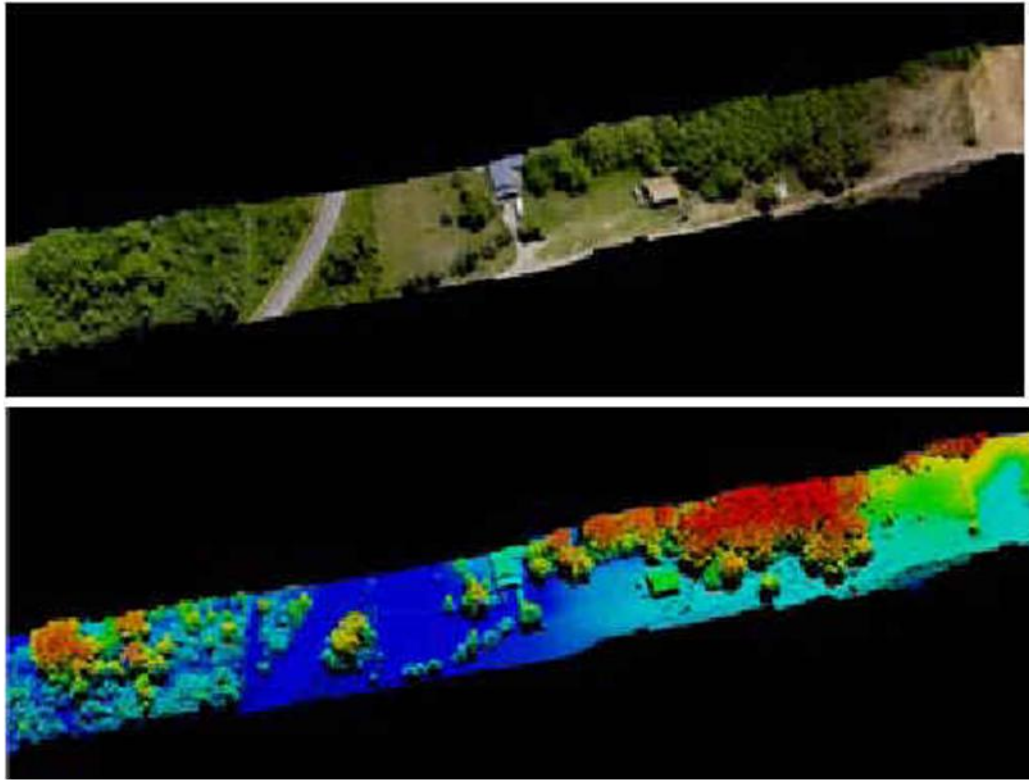
doğruluğunun arttırılması için çoklu algılama sistemi verilerinin kullanımını önermişlerdir.

3.1 Çoklu Algılama Sistem Bileşenleri

Günümüzde, çoklu algılama sistemi yeni bir teknolojidir. Bu sistemin bileşenleri; LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kameradan oluşmaktadır. Şekil 3.1’de çoklu algılama sistemi bileşenleri verilmiştir [119]. LiDAR, üç boyutlu georeferanslandırılmış nokta bulutu şeklinde veri toplar. Ayrıca, yüksek doğruluklu, hızlı ve direkt olarak sayısal veri toplama özelliğine sahiptir. Bu aktif algılama sisteminin avantajlarının yanında, görüntü verisi olmaması nedeniyle, obje çıkarımında verinin anlaşılabilirliğinin zordur. Örneğin; aynı bölgelerdeki mısır ve buğday alanlarının, aynı yükseklikteki bina ve ağaç gibi objelerin birbirine karışması gibi sorunlar ile karşılaşmaktadır. Otomatik obje çıkarımında sadece, LiDAR verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda farklı detaylar şeklinde ayırt edilememesi önemli sorunlardandır. Bu sorunların çözümü için mevcut olan LiDAR sistemine, fotogrametrik sayısal kamera entegre edilerek çoklu algılama sistemi oluşturulmuştur. Bu sisteminin gelişmesi ile LiDAR nokta bulutu ve sayısal görüntü verileri üretim imkanı sağlanmıştır. Şekil 3.2’de çoklu algılama sisteminden üretilen LiDAR nokta bulutu ve sayısal görüntü verileri örnek olarak verilmiştir [120]. Bu veriler kullanılarak geliştirilen yöntemler ile otomatik obje çıkarımında karşılaşılan sorunlar için çözümler üretilir.



Şekil 3. 1 LiDAR, GPS/IMU ve sayısal kameradan oluşan çoklu algılama sistemi [119]



Şekil 3. 2 Çoklu algılama sisteminden elde edilmiş görüntü ve nokta bulutu örneği [120]

3.1.1 LiDAR

LiDAR, İngilizce Light Detection And Ranging kelimelerinin kısaltılmasından oluşan ve hava taşıtlarında kullanılan lazer tarayıcı sistem olarak adlandırılır. Günümüzde, obje çıkarımı için kullanılan son teknolojilerden biri olan LiDAR, havadan lazer tarama sistemi (ALS) ve LADAR (Laser Detection and Ranging) olarak da literatürde ifade edilir. 1960'lı yıllarda optik lazerin Hugh Aircraft şirketi tarafından geliştirilmesine rağmen, yer yüzeyi ölçümleri 1970'li yıllarda başlayabilmiştir (Sithole [27]). LiDAR sisteminin gelişim süreci 1970 ve 1980'li yıllara dayanmakta olup ilk olarak NASA tarafından uygulanmıştır (Ackermann [121]). 1980'li yıllarda GPS'in kullanımının yaygınlaşmaya başlamasıyla konumlandırma problemi için yüksek doğruluk elde etmek mümkün hale gelmiştir. 1988 ve 1993 yılları arasında, Ackermann Stuttgart Üniversitesi'nde lazer tarama teknolojisi ve gerçek zamanlı yer belirleme sistemini birleştirerek; Lazer, GPS ve IMU sisteminin yüksek geometrik doğruluk potansiyelini ortaya koymuştur. 1990'lı yılların ortalarında havadan lazer tarama teknolojisi ile yer yüzeyi ve objelerin şekli hakkında kesin ve doğrudan referanslandırılmış mekansal bilgi sağladığı fotogrametri ve uzaktan algılama komiteleri tarafından kabul edilmiştir [91]. Özellikle 3B ve yükseklik verisinin 1m^2 'nin 10 noktadan ($10\text{ nokta}/\text{m}^2$) fazla temsil edilmesi yeni uygulama alanlarının yaratılmasına sebep olması, 2B yerine 3B veri kullanımı yer yüzeyinin en iyi şekilde temsil edilmesi açısından önemlidir (Elberink [16]).

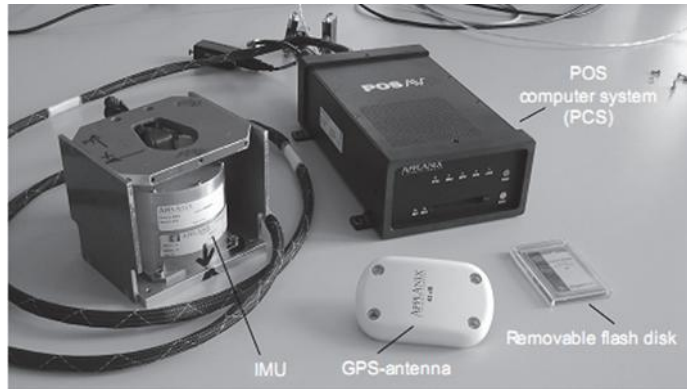
1990'lı yılların sonlarında havadan lazer tarama (Airborne Laser Scanning (ALS)) ve yersel lazer tarama (Terrestrial Laser Scanning (TLS)) ölçme ve harita üretiminde yer almaya başlamıştır. Lazer tabanlı uzaktan algılama teknikleri ile veri toplamanın zor olduğu alanlarda daha düşük maliyet ve hızlı bir şekilde 3B veri elde edilmesi mümkündür. LiDAR, aktif bir uzaktan algılama sistemi olması sebebiyle her mevsimde, günün her hangi bir saatinde veri edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, LiDAR sistemi, GPS ve IMU sisteminin lazer tarama sistemleri ile entegre edilmesi ile noktaların 3B (X,Y,Z) koordinatları yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir. GPS alıcısı dört ya da daha fazla uyduya aynı anda bağlanma özelliği ile üçgenleme yaparak konumu bilinen uydulara bağlanıp, yerde bulunan konumu bilinmeyen alıcının konumunu hesaplamaktadır. IMU sistemi, içerdiği ivme ölçer ile graviteye bağlı olarak hız sensörün dış yöneltme parametrelerini hesaplamaktadır [122]. LiDAR sisteminin avantajlarından biri de

orman, bitki alanları ya da engebeli araziler gibi ulaşımı zor ya da imkânsız olan geniş alanlarda harita üretimini olanaklı hale getirmesidir.

Lazer sistemleri 30 yılı aşkın bir süredir ticari ölçümler için kullanılmaktadır. Optech International, Leica Geosystems ve Riegl gibi tedarikçi firmalar bu sistemlerin geliştirilmesi için sürekli çalışmalar yapmaktadır [110]. Lazer sistemi temel olarak; optik, mekanik ve elektronik sistemin entegrasyonu ile oluşmuştur. Bu sistemler; barkot tarama, temassız denetleme, 3B modelleme, mühendislik, mimarlık, petrol arama, topografya, madencilik, sağlık bilimleri, arkeoloji, kalite kontrol gibi birçok alanda kullanılmaktadır [91].

3.1.2 GPS/IMU

GPS/IMU sistemi, uçak, helikopter vb. hareketli platformlardan kayıt anında algılayıcının yönlendirilmesi için gerekli olan konum ve dönüklük bilgilerinin doğrudan ölçülmesine olanak sağlar. Bütünleşik GPS/IMU sistemi ile elde edilen diferansiyel GPS ölçümleri ve IMU verileri, Kalman filtreleme yöntemi ile birleştirilerek, konum ve dönüklük verileri için yüksek doğruluk elde edilmektedir. Şekil 3.3’de GPS/IMU sistemi ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 3 GPS/IMU sistemi [110].

IMU, birbirine dik üç eksen üzerine birbirine paralel yerleştirilmiş jiroskop ve ivmeölçerlerden oluşmaktadır. IMU’nun ölçme prensibi Newton’un eylemsizlik prensibine dayanmaktadır. IMU, hareket halindeki araca ait açısal hız vektörlerini (ω_{ig}) ve kuvvet vektörünü (f^g) sürekli olarak ölçmektedir. Açısal hız vektörü (ω_{ig}), platform koordinat sisteminin inersiyal koordinat sistemine göre dönüklüğünü tanımlamaktadır.

Kuvvet vektörü (f^g), hareket halindeki araca etki eden tüm kuvvetlerin bir bileşkesidir. Hareket halindeki aracın inersiyal koordinat sistemine göre doğrusal ivmeler toplamı bu ölçümler yardımıyla belirlenebilir. Belirlenen doğrusal ivmelerin zamana göre integrali alınarak hız verileri, zamana göre ikinci integrali alınarak istenen konum verileri elde edilir.

Dönüklük bilgileri, IMU'nun bileşenlerinden biri olan jiroskoplar yardımıyla belirlenmektedir. Doğrudan algılayıcı yöneltmesi ve doğrudan yöneltme işleminin sonuç doğruluğu daha çok dönüklük bilgilerinin doğruluğuna bağlıdır. Doğrudan algılayıcı yöneltmesi amaçlı olarak kullanılan jiroskoplar, açısal momentumun korunumu ve "sagnac effect" ilkesine dayanmaktadır. Açısal momentumun korunumu ilkesine göre tasarlanmış jiroskoplara örnek olarak "Dry Tuned" jiroskoplar verilebilir. "Sagnac effect" ilkesi kapalı bir tüp içerisinde hareket eden ışığın eylemsizlik prensibine dayanmaktadır. Bu ilkeye göre tasarlanmış jiroskoplara örnek olarak optik jiroskoplar olarak sınıflandırılan lazer jiroskoplar ve fiber optik jiroskoplar verilebilir (Yastıklı [122]).

GPS uyduları, GPS alıcıları tarafından alınan radyo sinyallerini iletmektedir. Konumu bilinen en az dört uyduya bağlanır ve teorik olarak bu dört uyduya bağlı olarak alıcının konumu ölçülmektedir. Ancak oldukça hassas bir ölçüm elde edilebilmesi için en az altı uyduya bağlanması gerekmektedir. GPS'in temel mantığı basit olsa da 3B geometriye dayanmaktadır. Ayrıca, gravitenin düzensiz, yer yüzünün şeklinin düzgün olmaması, harita üretimi için kullanılan projeksiyon, atmosfer koşulları gibi bir çok parametreden dolayı elverişsiz durumlar oluşabilir.

3.1.3 Sayısal (CCD) Hava Kameraları

Hava kameraları yıllardır fotogrametrik harita üretim çalışmalarında başarı ile kullanılmaktadır. Analog hava kameraları ile farklı odak uzaklıklı objektifler kullanılarak 23x23 cm boyutlarında diyafram açıklığı 1/4-1/22, poz süresi 1/50-1/1000sn arasında değişen 120m-150m uzunluğundaki filmlere gizli görüntü kaydedilmektedir. Uçuş sonrasındaki banyo aşamaları sonucunda bu gizli görüntü görünür hale gelmekte, negatif ya da pozitif fotoğraf sayısal değerlendirme aletlerinde değerlendirilmektedir. Sayısal kameralar silikon detektör, bilgisayar işlem hızı, depolama kapasitesi gibi teknolojik gelişmelerle bugün projelerde başarı ile kullanılmakta ve analog hava

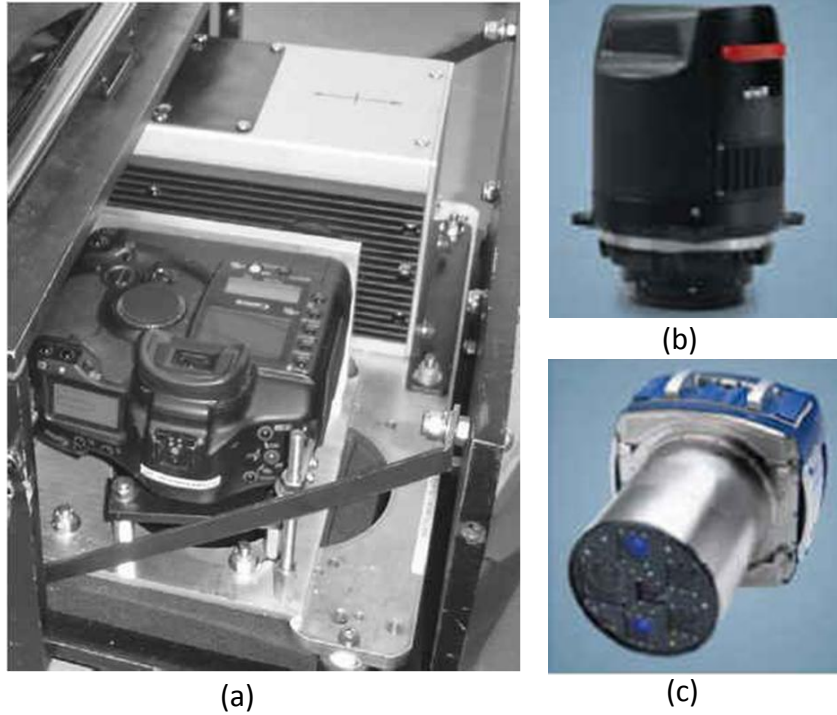
kameralarına rakip olarak gösterilmektedir. Sayısal kameralar, klasik analog fotoğraflardaki banyo ve tarama işlemlerini ortadan kaldırmakta, yüksek ve görüntünün tümünde aynı radyometrik çözünürlüğü sağlamakta, elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde aynı ayda görüntü kaydını olanaklı hale getirmekte bunun sonucu renkli ve yapay renkli görüntüler elde edilebilmektedir. (Yastıklı [123])

Sayısal kameralarda kullanılan görüntü kayıt sistemi Charge Couple Device (CCD)'ye dayanmaktadır. CCD'lerin temel yapı elemanı silikon detektörler bir dizi şeklinde veya bir çerçeve içerisindeki alanı kaplayacak biçimde dizilirler. Her kayıt elemanı, diğer bir deyişle silikon detektör, yeryüzündeki objelerden yansıyan ışık enerjisini elektrik sinyallerine dönüştürerek kaydeder. Bu detektörlerin diziliş şekillerine göre sayısal dizi veya çerçeve kamera sistemi olarak isimlendirilirler. Analog hava kameralarında ayırma gücü 40 çift çizgi/mm ile 80 çift çizgi/mm arasında değişmektedir. Ayırma gücü 40 çift çizgi/mm ve 1 çift çizginin sayısal görüntüde pratik uygulamalarda minimum 2 piksel ile ifade edilmesi durumunda 1 pikselin boyutunun $12.5 \mu m$ olması gerekir. Analog hava kameralarındaki 23cm'lik fotoğraf kenarı göz önünde bulundurulursa tarama sonucunda elde edilen sayısal görüntü 18400x18400 pikselden oluşur. Benzer çözünürlüğün sayısal kameralarda da elde edilmesi durumunda çerçeve kameranın 18400 x 18400 piksel çözünürlüğe sahip olması gerekir (Yastıklı [123]).

Teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen çoklu algılama sisteminin önemli bir bileşeni sayısal (CCD) hava kamerasıdır. Bu sistemde kullanılan kameralar 4 spektral banttıan oluşan Sayısal dizi (CCD) kameralar ya da sayısal çerçeve (CCD) kameralardır. Kullanılan sayısal çerçeve kameralar normal formattaki ve normal çözünürlüğe sahip olan çerçeve kameralardır. Bunlara örnek olarak Applanix firması tarafından üretilen DSS ve IGI firması tarafından üretilen DigiCAM sayısal kamera verilebilir. Bu sayısal kameralar 14 milyon piksel ile 22 milyon piksel arasında değişen çözünürlüğe sahip görüntü kaydetmektedir. Sayısal dizi (CCD) kameralar ile elde edilen ham görüntü veri işleme aşamasında işlenerek düzeltilmektedir.

Sayısal kameralarda kullanılan görüntü kayıt sistemi CCD, silikon detektörlere dayanmaktadır. Bu silikon detektörler bir dizi şeklinde veya bir çerçeve içerisindeki alanı kaplayacak biçimde dizilirler. Her kayıt elemanı, diğer bir ifade ile silikon detektör, yeryüzündeki objelerden yansıyan ışık enerjisini elektrik sinyallerine dönüştürerek

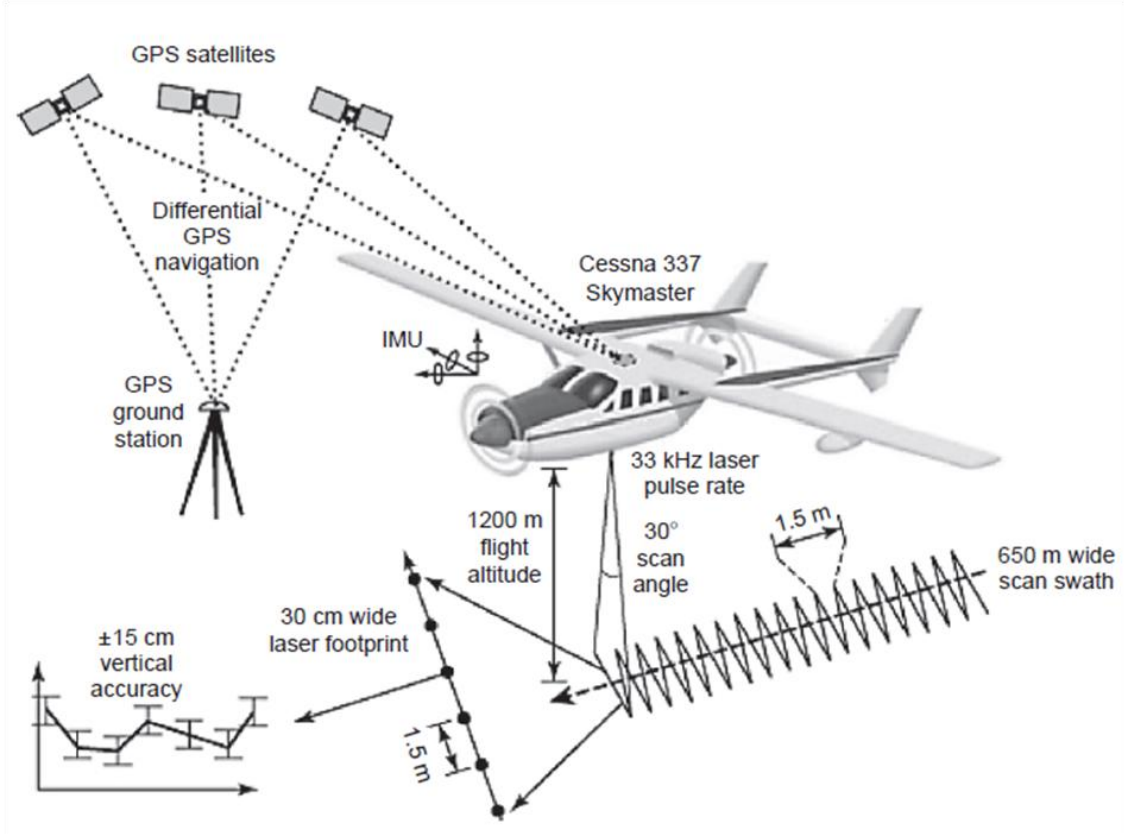
kaydeder. Bu detektörlerin diziliş şekillerine göre sayısal dizi veya çerçeve kamera sistemi olarak isimlendirilirler (Kılıç [124]). Çoklu algılama sisteminde küçük, orta ve geniş formatlı sayısal frame kameralar kullanılmaktadır. Bu tip kameralara birer örnek Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3. 4 Sayısal hava kameralar:Canon EOD-1D küçük format sayısal frame kamera (Terrapoint) (a), RCD30 Leica orta format sayısal frame kamera(b), Z/I DMC-II Leica geniş format sayısal frame kamera (c) [110].

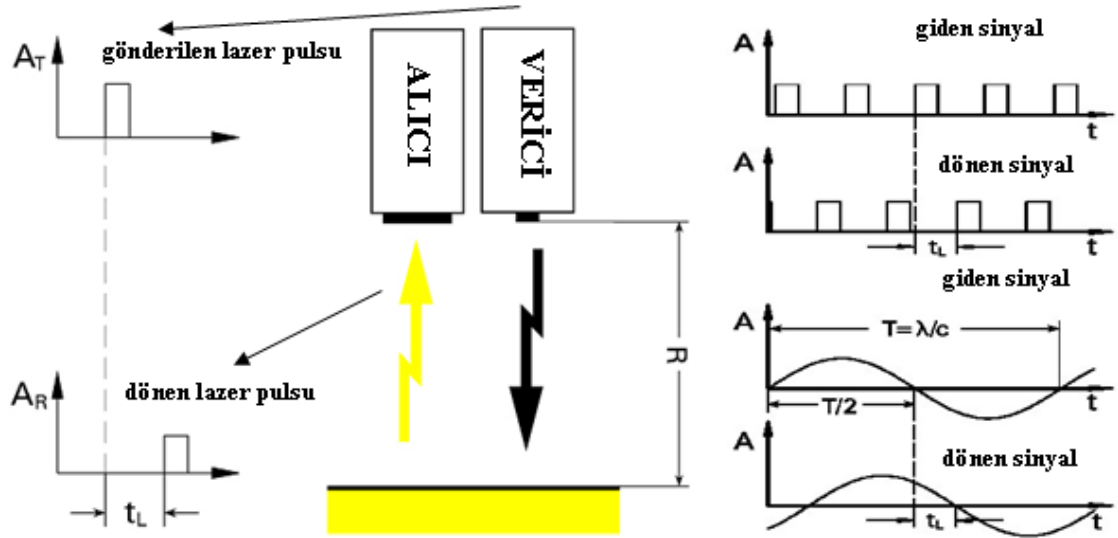
3.2 Çoklu Algılama Sisteminin Ölçme Prensibi

Çoklu algılama sisteminin temel bileşenleri ve işletim parametreleri ile çalışma prensibi Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bu diyagram, Optech ALTM havadan lazer tarayıcı çalışma prensibini göstermektedir. Ayrıca çalışma prensibinin yanında, GPS’in uçak ve yer istasyonunda, LiDAR ile entegre kullanımını gösterilmiştir. Cessna 337 Skymaster bir uçağa yerleştirilen LiDAR ile 1200m uçuş yüksekliğinde, 33kHz lazer ışın hızı, 30° tarama açısı ile ± 15 cm düşey doğruluk elde edilmektedir. LiDAR tarama şekli z şeklinde (zigzag) olup, 650m tarama alanı genişliğinde ve 30cm genişliğinde lazer izine (footprint) sahip ve iki lazer ışını arasındaki mesafe 1.5m olarak gösterilmiştir [110].



Şekil 3. 5 Çoklu algılama sisteminin temel bileşenleri ve işletim parametreleri ile çalışma prensibi [110]

Çoklu algılama sisteminin ölçme prensibi, sistem tarafından gönderilen dar lazer ışın demetinin gönderilme ve obje yüzeyinden yansıyıp alıcıya dönmesi arasındaki sürenin (tL) ölçülmesine dayanmaktadır. Lazer ışın demetinin gönderiliş ve dönüş zamanı arasındaki fark sistem tarafından çok hassas bir şekilde ölçülür. Lazer ışın demetinin boşluktaki hızı bilindiğine göre, ölçülen bu fark yardımıyla sistem ile lazer ışınının yansıdığı obje arasındaki uzunluk (R) hesaplanabilir (Wehr [125]). Şekil 3.6'da Lazer tarayıcı temel ölçme prensibi şekil ve grafikler ile ifade edilmiştir.



Şekil 3. 6 Lazer tarayıcı temel ölçme prensibi (Wehr [125])

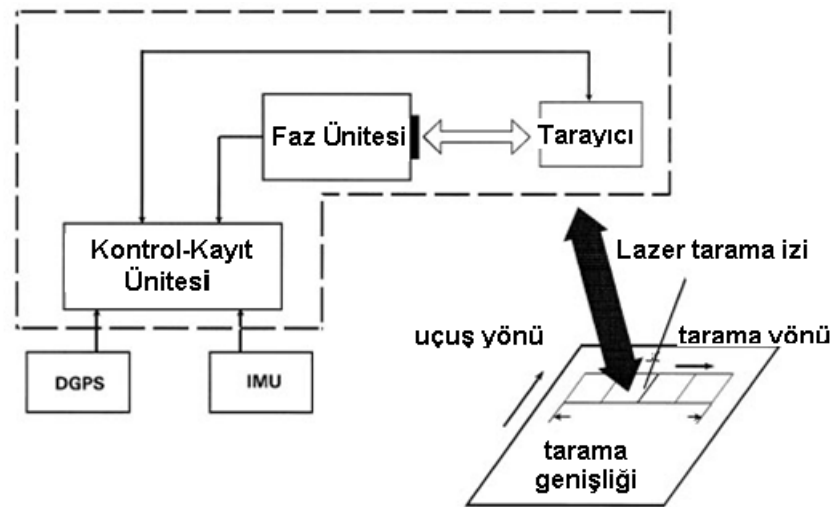
c: Lazer ışınının hızı

R: Uzunluk

$$R = \frac{1}{2} * c * t_L$$

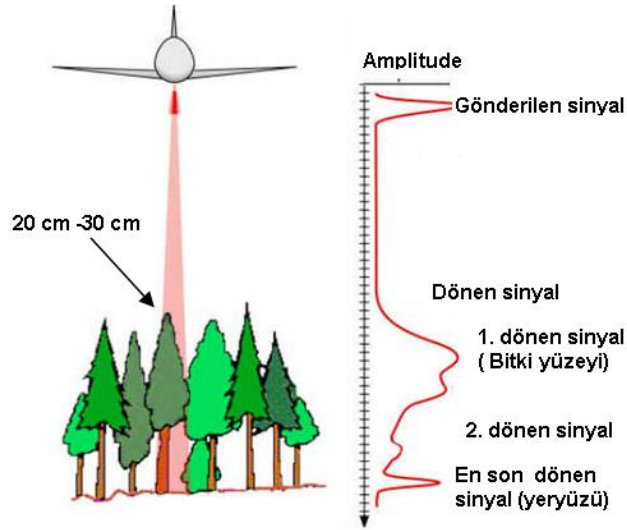
$$t_L = 2 * R * c$$

GPS/IMU sistemi yardımıyla lazer ışın demetinin gönderildiği andaki dönüklük açısı ve konumu ölçülerek ışının yansıdığı objenin hassas X,Y,Z koordinatları elde edilir. Lazer tarayıcı sistemlerin bileşenleri ve tarama işlemi Şekil 3.7’de gösterilmiştir (Wehr ve Lohr [126]). Lazer tarayıcı sistemlerde dalga boyu 800nm ile 1600nm arasında değişen lazer ışını kullanılmaktadır.



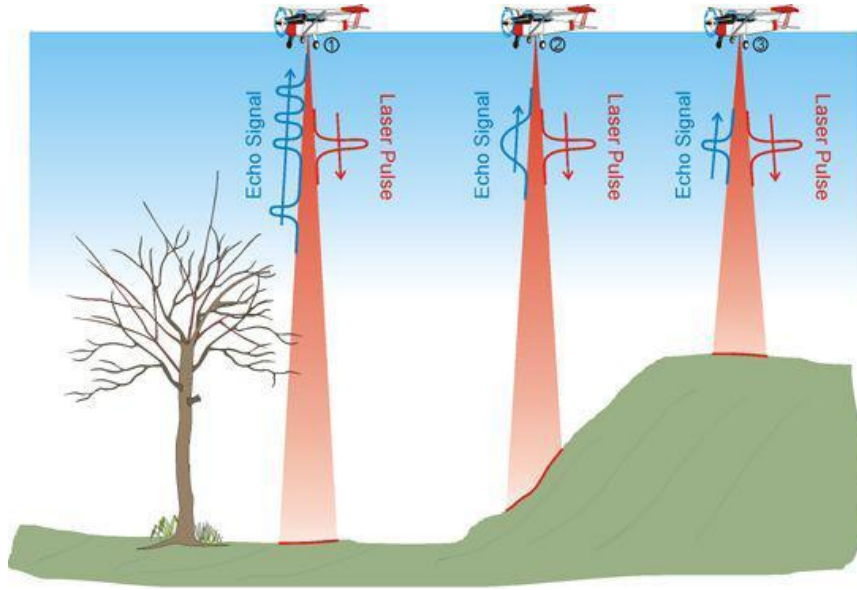
Şekil 3. 7 Lazer tarayıcı sistemi bileşenleri [126]

Yeni nesil lazer tarayıcılarda, hem birinci yansımalar (first pulse) hem de son yansımalar (last pulse) kaydedilebilir. Noktalar, yer noktaları diye adlandırılan en alçaktaki noktalar ve bitki örtüsü üzerindeki noktalar diye ayırt edilebilir. Kural olarak en alçaktaki noktalar, arazinin last pulse kaydındaki noktalardır (Külür [49]). Şekil 3.7’de Lazer sinyalinin bitki örtüsü yüzeyinden yansıması örneğinde gönderilen ve dönen sinyaller gösterilmiştir (Hug vd. [127]).



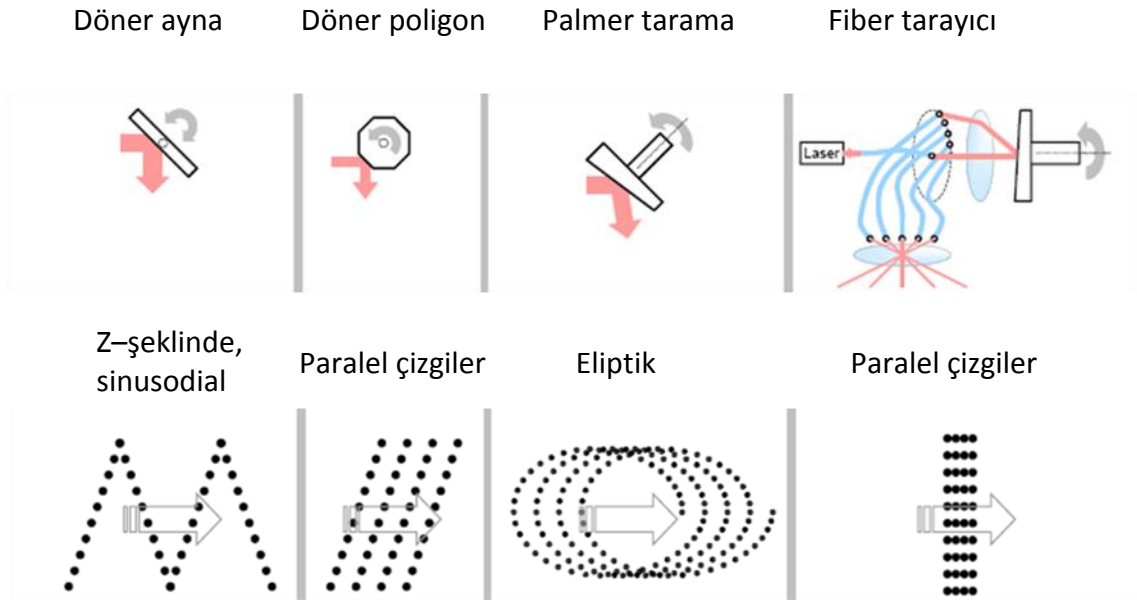
Şekil 3. 8 Lazer sinyalinin bitki örtüsü yüzeyinden yansıması (Hug vd. [127])

Tarama işleminde kullanılan lazer ışın demetinin yeryüzündeki çapı yaklaşık 20-30 cm arasında değişmektedir. Bazı durumlarda özellikle tarama yapılan alanın bitki örtüsüne bağlı olarak obje yüzeyinden ilk yansıyan sinyal ile son yansıyan sinyalin yansıdığı yüzeyler farklı olabilir. Genellikle ilk yansıyan sinyal bitki örtüsüne son yansıyan sinyal ise yer yüzeyine ait olmaktadır (Şekil 3.8). Bu sinyaller kaydedilerek özellikle ormanlık alanlarda bitki örtüsü ya da ağaç yükseklikleri belirlenebilir Şekil 3.9’da gösterildiği gibi lazer sinyalleri yer yüzeyinden yansımaları, yer yüzeyi şekline göre farklılıklar gösterebilir. Bu farklılıklar obje çıkarımında karışıklıklara neden olabilir. Böyle durumlarda intensity gibi alternatif bilgilere ihtiyaç duyulur. Yeni lazer tarayıcı sistemler, gönderilen ve obje yüzeyinden yansıyan lazer sinyalinin “intensity” bilgisini de kaydetmektedir. Bu bilgiler yardımıyla “intensity görüntüsü” oluşturulmakta, oluşan bu intensity görüntüsü ise aynı yükseklik değerine sahip noktaların sınıflandırılmasında ve taranan objeye ilişkin öznelik bilgilerinin çıkarımında kullanılmaktadır.



Şekil 3. 9 Lazer sinyalinin yer yüzeyi üzerinden yansıması (Hug vd. [127])

Ticari olarak pazarlanan sistemlerde tarama işleminde kullanılan teknolojiler döner ayna sistemi, döner poligon sistemi, Palmer ve fiber tarayıcı sistemler olarak özetlenebilir [120]. Bu sistemler yardımıyla lazer diyottan çıkan lazer ışını yönlendirilerek tarama işlemi gerçekleştirilmektedir (Yastıklı [123]). Ayrıca lazer tarama işlemleri Z-şeklinde, paralel ve eliptik desen şeklinde olabilir (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10 Lazer tarama teknolojileri döner ayna, döner poligon, fiber tarayıcı [120]

Bugün hava taşıtlarında kullanılan 50'den fazla ticari lazer tarayıcı sistem mevcuttur. Bunlardan yaygın olarak kullanılan sistemlere örnek olarak, Optech, TopoSys, TopEye,

ScaLARS, Riegl sistemleri verilebilir. Bu sistemlerle 50-5000 m arasında değişen uçuş yüksekliğinden yapılan tarama işlemi sonucunda 0.25-10 m arasında değişen nokta sıklığına sahip veri üretilmektedir. Tarama işlemi sırasında elde edilen verilerin doğruluğu, lazer tarayıcılar ile belirlenen uzunluk ve lazer dönüklük açısının doğruluğuna, GPS/IMU sistemi ile belirlenen algılama sistemi konumu ve dönüklük verilerine ve bütünleşik sisteminin kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesine bağlıdır. Lazer ile uzunluk ölçüm doğruluğu 10 cm' nin altındadır. Lazer dönüklük açıları $\pm 0.003^\circ$ doğrulukla belirlenmektedir. Kinematik GPS ile belirlenen konum doğruluğu $\pm 15\text{cm}$ ve IMU ile belirlenen roll ve pitch dönüklükleri $\pm 0.003^\circ$ ve yaw dönüklüğü $\pm 0.01^\circ$ doğrulukla belirlenebilmektedir (Yastıklı, [123]). Bütün bu etmenler göz önüne alınarak elde edilen yükseklik doğruluğu, açık alanlarda için uygun veri elde etme koşulları, proje bölgesinde yapılan ek çapraz uçuşlar, uygun kalibrasyon alanı ve doğru yapılmış kalibrasyon işlemi ile 15-20 cm civarındadır.

Çoklu algılama sistemi hazırlanırken, üç boyutlu hassas ölçümlerin yapılabilmesi için entegre edilecek diğer araçların kalibre edilmiş olması gerekmektedir. Ayarlanmış bir saat, gönderilen bir ışının gidiş ve dönüş arasında geçen zamanı kaydeder. LiDAR tarama sisteminde IMU sensörlerin yönlendirilmesini sağlarken; GPS hassas olarak konumlandırılmasını sağlamaktadır [127]. GPS sistemi bir an da en az dört uyduya bağlandığı için, GPS uydularının konumlarına bağlı olarak kendi konumunu belirleyebilmektedir. IMU sistemi ise kendi koordinat sisteminde sensörün dış yöneltme parametrelerini belirleyebilmektedir. GPS ve IMU sisteminin entegre edilmesi ile lazer ışının yerdeki izi üç boyutlu olarak hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. (Yastıklı [122]) IMU sistemi çalışırken gravite bilgisine de ihtiyaç vardır ancak GPS ile birlikte kullanımı bu ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır [110].

LiDAR, geleneksel çerçeve kameralar ile karşılaştırıldığında, kendisine özgü bazı farklılıklar içerdiği görülebilir. LiDAR sisteminin bir başka farklılığı, alıcının yoğunluk kaydedebilme özelliğidir. Yoğunluk, objenin yansıtma özelliğine bağlıdır. Örneğin asfalt dökülmüş yollar beton çatılardan daha koyu görünür, kızılötesinin lazer ışınlarını daha çok emmesi ile su alanları en koyu görüntüleri verir. Pasif ya da optik uzaktan algılama sistemlerinde gri değerler güneşin yansıması ile elde edilirken, LiDAR ile elde edilen yoğunluk görüntüsü lazer ışınının yansıması ile sağlanmaktadır [128]. Aktif sistem olduğu için günün herhangi bir zamanında ve genel hava koşullarında ölçüm

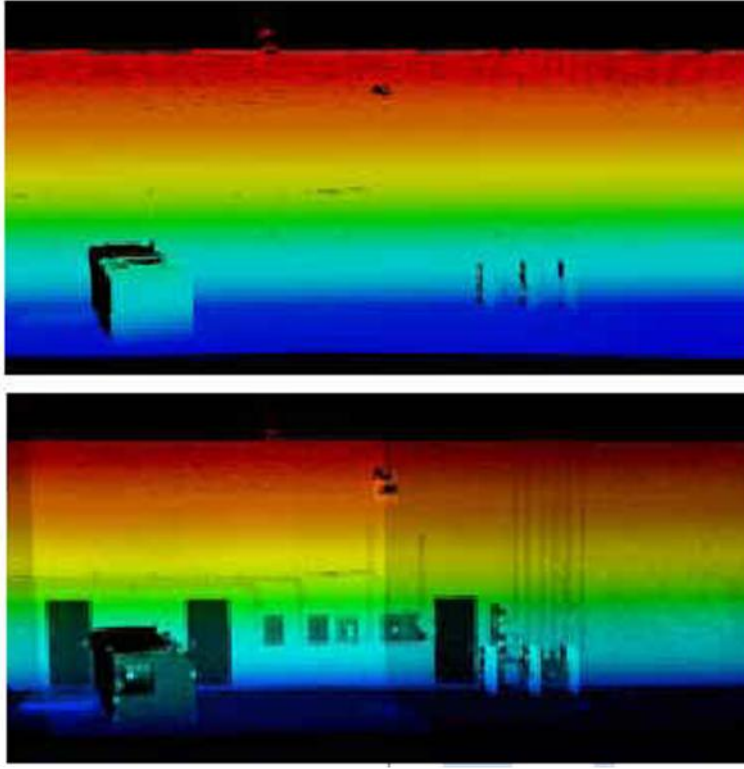
yapabilmektedir [91]. Lazer tabanlı uzaktan algılama teknikleri hassas doğruluğa sahip veriler üreterek, önceden yapımı ve belirlenmesi zor olan orman alanları, bitki örtüsü ve engebeli alanlarda harita üretimini olanaklı hale getirmiştir. Çıplak arazide lazer noktaları ile sayısal yükseklik modeli (DEM) üretimi daha kolaydır [91].

Kalite kontrolü her hangi bir projede olduğu gibi hava taşıtlarında lazer tarama sistemlerinin de bir parçasıdır. LiDAR sisteminin tüm elemanları uçuş öncesinde ve uçuş sırasında kontrol edilmelidir. Operatör, GPS de her hangi bir kayıklık olmadığından ve roll açısının düzgünlüğünden emin değildir. Pahalı sistemler olduğu için kalibrasyonun yapılması, uçuş planının hazırlanması, ekipmanların çalışmasının kontrolü gibi işlemler yapılmalıdır. Ön işleme aşamasında kalite kontrolü “kontrol noktaları” ile yapılabilir. Kalite kontrol aşamasında manüel 3B düzenlemeler de yapılabilir.

Lazer tarayıcı sistemler aktif; çevresel koşullardan bağımsız olarak gece gündüz çalışabilen sistemlerdir. Sayısal kameralar ile birlikte kullanılması durumunda aydınlatma koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Verilerin referans koordinat sistemine yönltilmesinde GPS/IMU sistemi kullanıldığı için arazide kontrol noktasına ihtiyaç yoktur. Böylece, klasik yöntemlerdeki arazi çalışmaları ortadan kaldırılmıştır [91].

3.2.1 Çoklu Algılama Sistemi ile Elde Edilen Veriler

Otomatik obje çıkarımında çoklu algılama sisteminin kullanılmasının önemli bir avantajı veri zenginliğidir. LiDAR kullanılarak yüksek doğruluklu 3B ham nokta bulutu verisi elde edilir. Gelişmiş LiDAR sistemlerinde nokta bulutu verisinin yanında intensity veriside kaydedilir. Sadece 3B mekansal verilerin (X,Y,Z) toplanması yerine, bu değerlerin yanında intensity verisinde (X,Y,Z,intensity) toplanması arasındaki fark Şekil 3.11’de bir örnek gösterimi ile verilmiştir.



Sadece (X,Y,Z)
değerleri

(X,Y,Z, intensity)
değerleri

Şekil 3. 11 LiDAR sisteminden elde edilen sadece (X,Y,Z) ile (X,Y,Z,intensity) verisine ait bir örnek [129]

LiDAR verileri nokta bulutu şeklinde toplanmaktadır. Nokta bulutu genel olarak LAS (Log ASCII Standard) formatında üretilmektedir. LAS formatı, LiDAR verilerinin yapısına uygun, aşırı karmaşık olmayan ikili (binary) bir dosya biçimidir [110]. LiDAR verilerinin içeriğinde noktalara ait X,Y,Z konum bilgilerinin değerlerinin yanı sıra, her noktaya ait yoğunluk değerleri, dönüş sayıları, zamanı gibi bilgiler de yer almaktadır. Bu bilgiler text dosyası olarak oluşturulmaktadır. Ancak bu dosyalar milyonlarca noktanın bilgisini text olarak içermesinden dolayı dosya boyutu oldukça büyük olmaktadır. Bu durum ise çalışma zorluğuna sebep olmaktadır. Bu nokta bulutları işlenip SYM veya TIN (yüzeyler) üretilmektedir. Üretilen yüzeyler kullanılarak eş yükselti eğrileri oluşturmak mümkündür. Yaygın kullanılan LiDAR ürünü denildiğinde, grid veya raster yükseklik yüzeyi akla gelmektedir. Yükseklik ürünü ya da yüzeyleri tanımlama için kullanılır. Yükseklik ürünü tanımlanırken sık sık kullanılan üç terim mevcuttur. Bu terimler, literatürde “Sayısal Yükseklik Modeli”, “Sayısal Arazi Modeli” ve “Sayısal Yüzey Modeli” şeklinde ifade edilirler.

SYM, arazinin yükseklik bilgisi kullanılarak, ortak bir düşey datumda X ve Y yönünde düzenli aralıklarla sayısal gösterimidir [91]. SAM kullanılarak üretilen eş yükseklik

eğrileri, arazinin gerçek şeklini daha gerçekçi bir biçimde sunmaktadır. Bu veriler, genellikle Geotiff formatında (.tif), ESRI Grid (.adf), floating point raster (.flt), ya da Erdas Imagine (.img), TIN (Triangulated Irregular Network) gibi formatlarda olabilmektedir. Farklı enterpolasyon yöntemleri (kriking, en yakın komşuluk vs.) kullanılarak nokta bulutundan, Sayısal yüzey modeli (YM), üretmek mümkündür. YM, yükseklik bilgilerinin bina, ağaç, kule ve diğer objelerin yüzeyine ilişkin bilgileri içerir. Topografik yüzeylere ilişkin yüzey yükseklik bilgileri TIN, düzenli aralıklı grid (SYM, SAM, YM) ve eş yükseklik eğrileri biçiminde saklanır.

Fotogrametri, 3B su toplama/ayırma çizgilerinin belirlenmesi için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Son zamanlarda “lidargrammetry” olarak adlandırılan bir yöntem kullanılmaktadır. Lidargrammetry, LiDAR ile elde edilmiş yoğunluk değerlerini bir fotoğrafımsı gibi değerlendirip, noktaların yükseklik bilgilerini görüntüye entegre ederek 3B bir görüntü oluşturmaya dayanmaktadır. Bu 3B görüntü kullanılarak su toplama/ayırma çizgilerinin tanımlanması mümkündür [110].

3.2.2 Veri İşleme ve Bilgilerin Çıkarılması

Çoklu algılama sisteminin veri işleme iş akışı; verilerin toplanması, ham nokta bulutunun kalibrasyon ve kalite doğruluk kontrolü, sınıflandırılmış veri üretimi (ground-nonground), ayrılmış detay verilerinin analizi (man-made), CAD/GIS için altlık olarak kullanılması şeklinde 5 madde halinde toplanabilir [91].

LiDAR, Sayısal Kamera ve GPS/IMU’dan oluşan bütünleşik sistem ile veri toplama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem bitirildikten sonra, LiDAR tarafından kaydedilen mesafe ve lazer dönüklük açıları, GPS/IMU sistemi tarafından kaydedilen konum ve dönüklük verileri ve LiDAR, Sayısal Kamera, GPS/IMU arasındaki ofset bilgileri kullanılarak rastgele dağılmış tarama noktalarının X,Y,Z koordinatları belirlenir. LiDAR, çok sayıda veri kaydetmektedir. Saniyede 5000 darbe yapabilmesi, lazer sinyalinin her yansıması için yoğunluk görüntüsünün oluşmasını olanaklı kılmaktadır. Her lazer sinyalinin yansıma genişliğine bağlı olarak, çarptığı her yüzeyde farklı olgular kaydetmektedir. Genellikle göreceli olarak 3B konum (eğer sistemin varsa bir de yoğunluk bilgisi) karşılaştırılması ya otomatik olarak yazılım ile ya da bina, yol gibi insan yapımı objeler yorumlanarak manüel yapılmaktadır. Amaca bağlı olarak sadece yoğunluk bilgisi

yorumlama için yeterli olabilir. Bu sistemde, GPS zamanı ile ayarlanmış video ya da frame kamera gibi izleme cihazlar bulunmaktadır. Bu şekilde verinin izlenmesi ve işlenmiş verilerin kontrolü olanaklı hale gelmektedir. Veri toplama aşamasında verinin izlenmesi, ekipmanların düzgün çalışmasının sağlanması, veri kalitesi gibi parametreler veri toplama sürecinin bir parçası olan görüntüleme ile belirlenebilmektedir.

Çoklu algılama sistemini oluşturan tüm sistemlerin doğru bir şekilde çalışıyor olması, yapılan işin doğru olduğu anlamına gelmez. Doğru yapıldığını anlamak için bazı kalibrasyon testlerinin yapılması gerekmektedir. Bir çok LiDAR ekipmanı, büyük bir veri ile uğraşıldığı için başka bir ölçme yöntemi ile elde edilen verileri kullanarak kalibrasyon testini yapmaktadır. Kalibrasyon ve sistem işletimleri için temel alınan iki farklı standart (guidelines) vardır. Bunlar, Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (ASPRS) ve A.B.D Federal Acil Durum Yönetim Ajansı'dır (FEMA). Buradaki en önemli adımlardan biri; tarama sırasında oluşacak sistematik hataların düzeltilmesi için yapılan sistem kalibrasyonudur. Sistem kalibrasyonu aşamasında genellikle spor sahası gibi seçilen düz bir alandaki taramalara ilişkin veriler referans alınır. Algılama sistemleri arasındaki dönüklük ve ofset bilgileri belirlenir. Belirlenen bu kalibrasyon parametreleri yardımıyla bütün veriler düzeltilir. Daha sonra, normal ve çapraz uçulmuş lazer tarama kolonları birlikte dengelenir. Dengeleme aşaması sonrasında tarama noktalarının üç boyutlu X,Y,Z koordinatları hesaplanır.

Ek filtreleme teknikleri kullanılarak bitki örtüsü ve insan yapımı objelerin (bina, yol, köprü, enerji nakil hatları vb.) yükseklik bilgileri de sınıflandırılabilir. Bu filtreleme tekniklerine; morfoloji, en küçük kareler enterpolasyonu, geometrik değerleri kullanma gibi yöntemler örnek olarak gösterilebilir.

Lazer tarayıcı sistemlerle elde edilen ham veri nokta bulutu olduğundan, veri işleme aşamasında bu veri işlenerek düzenli grid aralığına sahip sayısal yüzey modeli (YM) elde edilir. Sayısal yüzey modelinde, yer yüzeyine ait olmayan ağaç ve binalara ilişkin noktalar mevcuttur. Bu noktalar filtreleme algoritmaları kullanılarak filtrelenerek SYM elde edilir. Filtreleme aşaması sonrasında elde edilen sayısal yükseklik modeli ya da gridlenmiş sayısal yüzey modeline ilişkin noktalar kullanım amacına göre gri kodlanmış

görüntü ya da farklı yükseklik değerleri farklı renklerle ifade edilmiş görüntü olarak sunulur.

Çoklu algılama sisteminin gelişmesi ile yüksek doğruluklu, hızlı sonuç veri elde edilmesi, geniş alanlarda maliyet düşürülmesi, normal koşullarda çalışma imkânının çok zor olduğu alanlarda ölçüm yapılabilmesi gibi özellikleri sebebiyle kullanım alanı oldukça genişlemeye başlamıştır. Birçok mühendislik uygulamalarında, diğer teknolojilerle elde edilemeyen özellikleri kolayca belirleyebilmesi, bu sisteminin kullanılmasında önemli bir etkidir. Uygulama alanlarına örnek olarak; SAM üretimi, ormancılık, kıyı mühendisliği, yapı mühendisliği, afet ve hasar yönetimi, sel analizi, kent modelleme, kent planlama, otomatik obje çıkarımı gösterilebilir.

OTOMATİK BİNA ÇIKARIMI OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak otomatik bina çıkarımı konusunda yaşanan problemler tespit edilmiş ve sınıflandırma sonuçları irdelenmiştir. Bu problemlerin çözümü için tekli algılama sistemlerinden elde edilen veriler ile farklı yaklaşımlar test edilerek sınıflandırma doğruluğunu arttırmak için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda çoklu algılama sistem verilerini kullanarak kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile özgün bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım kent yönetimi ve afet yönetiminde önemli kararların alınmasında kullanılabilir hazır veri üretimi sağlayan örnek bir model için geliştirilmiştir.

Bu bölümde, ilk olarak çalışma alanları ve kullanılan veriler tanımlanmıştır. İkinci kısımda ise Çalışma Alanı (1) ve Çalışma Alanı (2) verileri kullanılarak otomatik bina çıkarımı olanakları test edilmiş ve sınıflandırma sonuçları değerlendirilmiştir. İlk olarak sayısal görüntü kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma sonuçları analiz edilmiştir. Bu aşamada kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri uygulanarak doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile tekli algılama sistem verilerinden sadece sayısal görüntü ve sadece LiDAR verileri kullanılarak sınıflandırma sonuçları test edilmiştir. Sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla üretilen ek görüntüler ile alternatif çözümler bulmak için uygulamalar yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, çoklu algılama sistemi verileri kullanılarak nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile gerçekleştirilen yaklaşımın işlem adımları ve uygulama sonuçları verilmiştir.

4.1 Çalışma Alanları ve Kullanılan Veriler

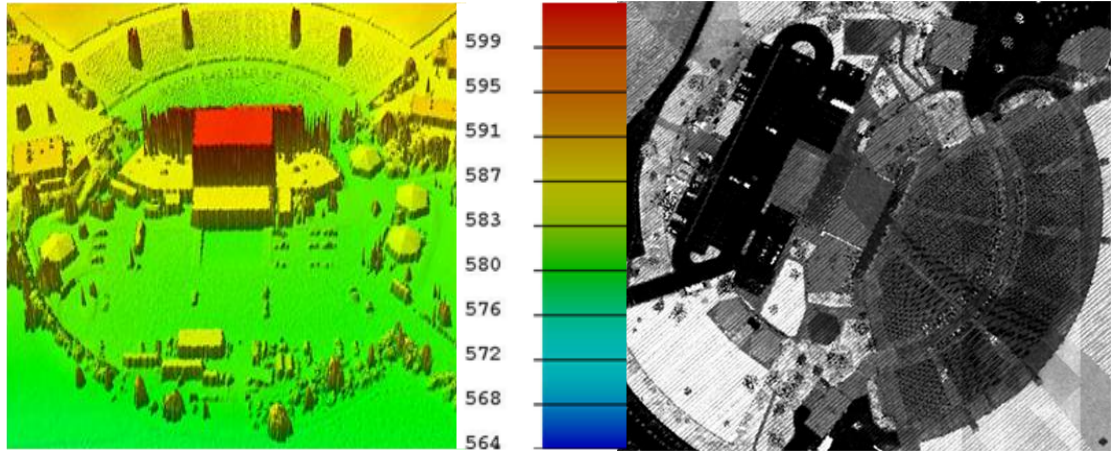
Otomatik bina çıkarımı için geliştirilen yaklaşım iki farklı çalışma alanında uygulanmıştır. Farklı bölgelere ait iki ayrı test verisinin kullanılmasındaki amaç, farklı eğimli bölgelerde ve farklı özelliğe sahip (RGB veya CIR) sayısal görüntüler ile geliştirilen yaklaşımın uygulanabilirliğinin test edilmesidir. Bu çalışmada kullanılan iki veri setinde aynı platform üzerinde oluşturulan çoklu algılama sistemi sonucunda elde edilen verilerden oluşmaktadır.

4.1.1 Çalışma Alanı 1

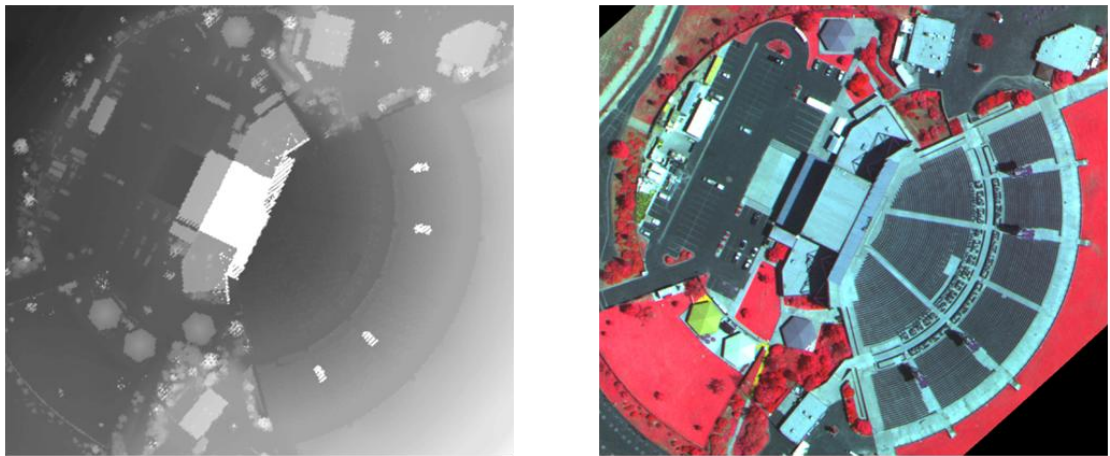
Bu çalışmada kullanılan ilk veri seti, Amerika Birleşik Devletlerinde çoklu algılama sistemi ile elde edilen veri setidir. Bu veri seti National Science Foundation (NSF) sponsorluğunda, Ohio State Üniversitesi (OSU) ve U.S. Geological Surveys (USGS) ortak çalışmasının sonucunda elde edilmiştir. “Before” (B4) adı verilen bu proje, 15-25 Mayıs 2005 tarihleri arasında, San Andreas-San Jacinto fay hatlarının tespiti amaçlı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, B4 projesinden elde edilen işlenmemiş veriler kullanılmıştır (Çizelge 4.1). Cessna 310 uçak ile oluşturulan bütünleşik sistem bileşenleri; Optech ALTM 3100 LiDAR, Applanix POS AV 510 georeferans sistemi (Novatel GPS ve LN200 IMU) ve Redlake MS 4100 sayısal kameradan oluşmaktadır [130], [131]], [132]. Çalışma Alanı (1) için; LiDAR ile elde edilen nokta bulutu ve intensity verisi, bütünleşik sisteme ait olan sayısal hava kameraları ile elde edilen sayısal görüntüler kullanılmıştır. LiDAR ile elde edilen 0,2m çözünürlüğe sahip, (X,Y,Z) değerlerini içeren filtrelenmiş nokta bulutu ile düzenli grid aralığına sahip sayısal yüzey modeli elde edilmiştir. Sayısal yüzey modelinde, yer yüzeyine ait olmayan ağaç ve binalara ilişkin noktalar mevcuttur (Şekil 4.1). Sayısal yüzey modeli ve yapay renkli görüntüler (CIR) ile ortofoto üretilmiştir (Şekil 4.2).

Çizelge 4. 1 Çalışma Alanı (1) veri bilgileri

Çoklu Algılama Sistemi	LiDAR, GPS/IMU	Sayısal Kamera
	Optech ALTM 3100 LiDAR, Applanix POS AV 510 georeferans sistemi Novatel GPS ve LN200 IMU	Redlake MS 4100
Tarih	25.Mayıs.2005	25.Mayıs.2005
Çözünürlük	0.2 m/nokta	0.2m/piksel
Veri	Yüzey noktaları ve intensity (atış yoğunluğu: 4nokta/m ²)	CIR görüntü



Şekil 4. 1 Çalışma Alanı (1) nokta bulutu ve intensity görüntüsü



Şekil 4. 2 Çalışma Alanı (1) YM ve ortofoto

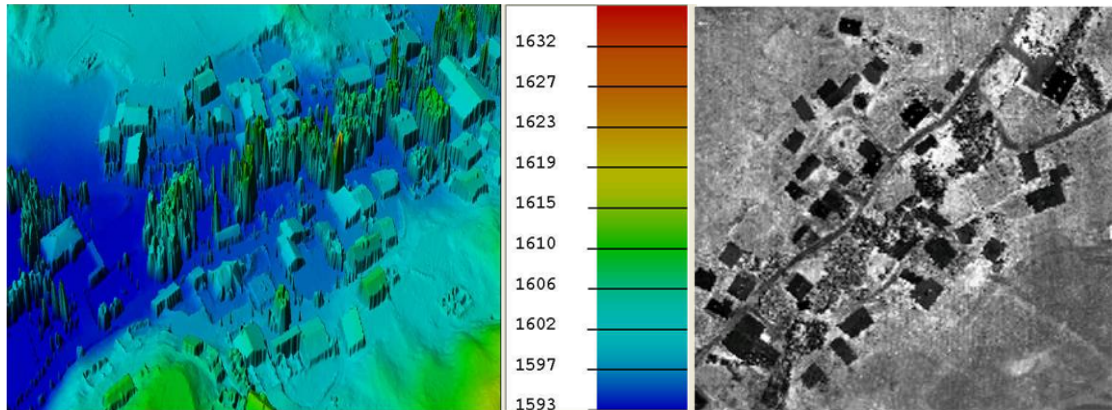
4.1.2 Çalışma Alanı 2

Bu çalışmada, önerilen yaklaşımında kullanılan ikinci test verisi “NABUCCO Doğal Gaz Boru Hattı Projesi” çerçevesinde elde edilen Sivas il sınırları içerisinde yer alan bir bölgeye aittir. Türkiye Bölümü Mühendislik Hizmetleri işinin SU-YAPI Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş./SEBAT Harita Prj.Müş.Etüt Dnt.Taah. ve Tic.Ltd.Şti. ortak girişimi ile mühendislik çalışmaları sonucunda 1 Kasım 2010 tarihleri arasında elde edilen veriler kullanılmıştır (Çizelge 4.2). Pilatus HB-FKL uçak ile oluşturulan bütünleşik sistem bileşenleri; Leica ALS60 LiDAR, GLM 60 (GPS/ CUS6-“uIRS” IMU) ve DiMAC (Digital Modular Aerial Camera), Dalsa Area Bayer RGB Charge Coupled Device (CCD) sayısal kameradan oluşmaktadır.

Çizelge 4. 2 Çalışma Alanı (2) veri bilgileri

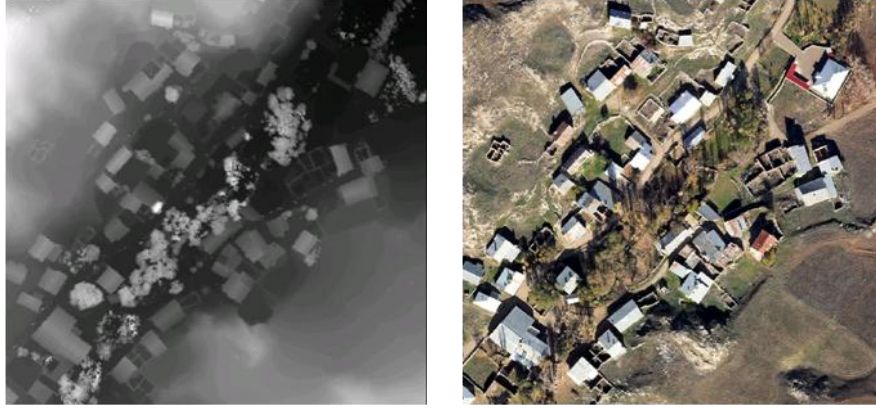
Çoklu Algılama Sistemi	LiDAR, GPS/IMU	Sayısal Kamera
	Leica ALS60 LiDAR, GLM 60 (GPS/ CUS6-“uIRS” IMU)	DiMAC, Dalsa Area Bayer RGB Charge Coupled Device (CCD)
Tarih	1 Kasım 2010	1 Kasım 2010
Çözünürlük	0.2 m/nokta	0.2m/piksel
Veri	Yüzey noktaları ve intensity	RGB görüntü

Çalışma Alanı (2) için LiDAR sistemi ile elde edilen LiDAR nokta bulutu ve intensity verisi, bütünleşik sisteme ait olan sayısal hava kameraları ile elde edilen sayısal görüntüler kullanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3 Çalışma Alanı (2) nokta bulutu ve intensity görüntü

LiDAR ile elde edilen 0,2m çözünürlüğe sahip, (X,Y,Z) değerlerini içeren nokta bulutu verisi ve intensity görüntü Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.4’de ise filtrelenmiş nokta bulutu verisi yardımıyla düzenli grid aralığına sahip sayısal yüzey modeli (DSM) ve renkli görüntülerden (RGB) elde edilen ortofoto verilmiştir.



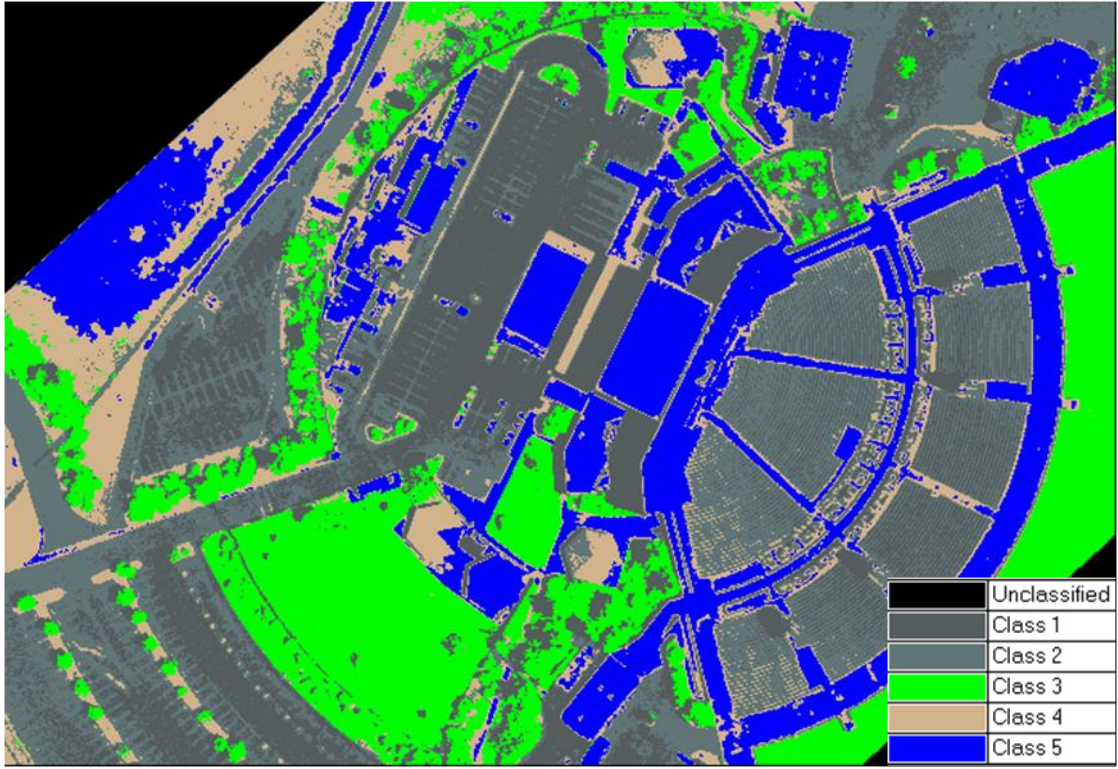
Şekil 4. 4 Çalışma Alanı (2) YM ve ortofoto

4.2 Piksel Tabanlı Sınıflandırma

Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama sadece sayısal görüntü ile piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanıldığında çıkan sonuçların analizi için gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için Çalışma Alanı (1)’e ait ortofoto kullanılmıştır.

4.2.1 Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma işleminde ISODATA (Iterative Self-Organization Data Analysis) yöntemi ile sadece piksel gri değerler dikkate alınarak, otomatik olarak 5 sınıf oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Bu sınıflandırma işlemi ile aynı spektral değere sahip objelerin aynı sınıf altında toplandığı gözlemlenmiştir. Bu durum incelendiğinde, binaları (Class 5) temsil eden ve lejantta mavi renk ile gösterilen objeler toprak alan ve zemin ile karıştığı tespit edilmiştir. Bu durum giriş bölümünde de belirtilen sadece sayısal görüntü kullanımından kaynaklanan ve yaygın görülen problemlerden biridir.

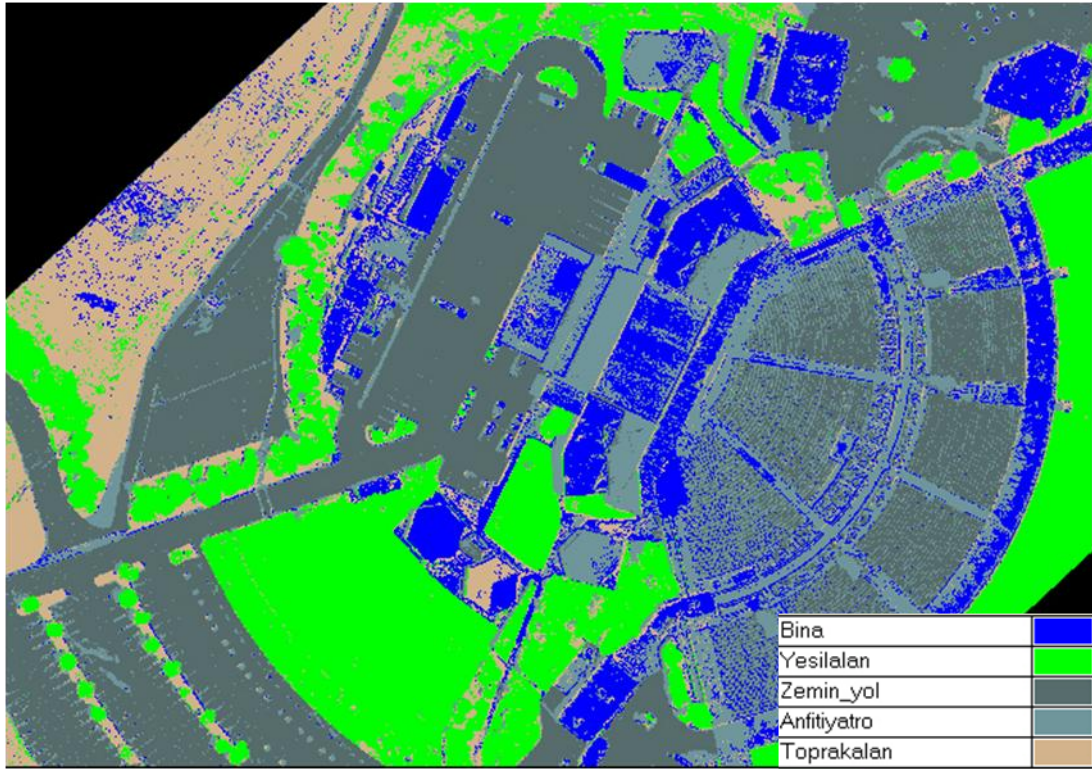


Şekil 4. 5 Sayısal görüntü kullanılarak 5 sınıf için yapılan kontrolsüz sınıflandırma

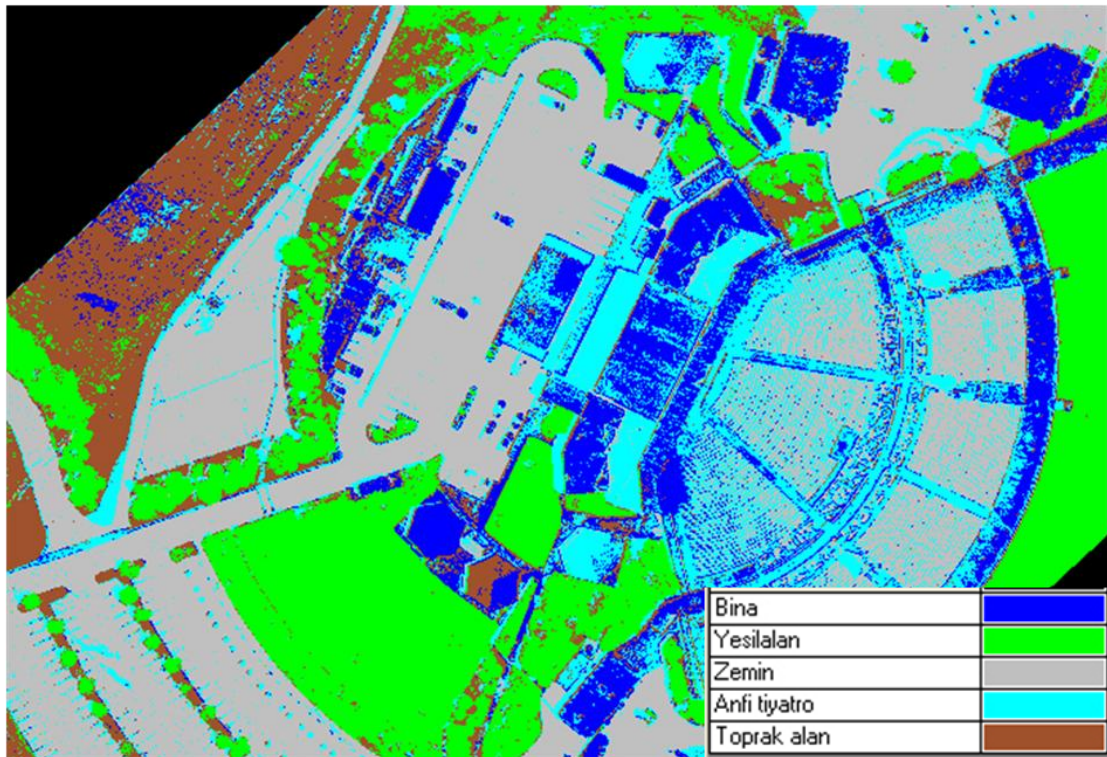
4.2.2 Kontrollü Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma işleminde sayısal görüntü kullanılarak bina, yeşil alan, toprak alan, anfitiyatro, zemin ve yol sınıfları oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Piksel tabanlı gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu sınıfların iyileştirilmesi için sayısal görüntüde bir sınıfa ait farklı yansıma değerlerine sahip gri değerler ayrı ayrı örnek alanlar altında toplanmış ve son aşamada tek bir sınıf olarak gösterilmiştir. Böylece yüksek çözünürlüklü olan sayısal görüntü ile elde edilen sınıflandırma sonucu artırılması amaçlanmıştır. İkinci aşama ise doğruluk analizidir. Bu aşamada, ilk olarak yeniden kodlama (recode) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde, her hedef sınıfına bir kod değeri verilerek, sınıflandırılmış görüntüdeki alt sınıflar (bina1, bina2,... bina10) tek bir sınıf (bina) altında birleştirilmiştir. Şekil 4.7’de yeniden kodlama işlemi gerçekleştirilmiş görüntü verilmiştir. İkinci aşamada doğruluk analizi için referans veri üzerinden kontrol noktaları alınmıştır. Şekil 4.8’de kontrol noktası için alınan 100 nokta gösterilmektedir. Gerçekleştirilen doğruluk analizi sonucunda toplam sınıflandırma doğruluğu %68 ve toplam Kappa istatistiği %60 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.3’de doğruluk analizi sonuçları verilmiş ve bina sınıfı Kappa değeri tek başına dikkate alındığında ise %40 gibi

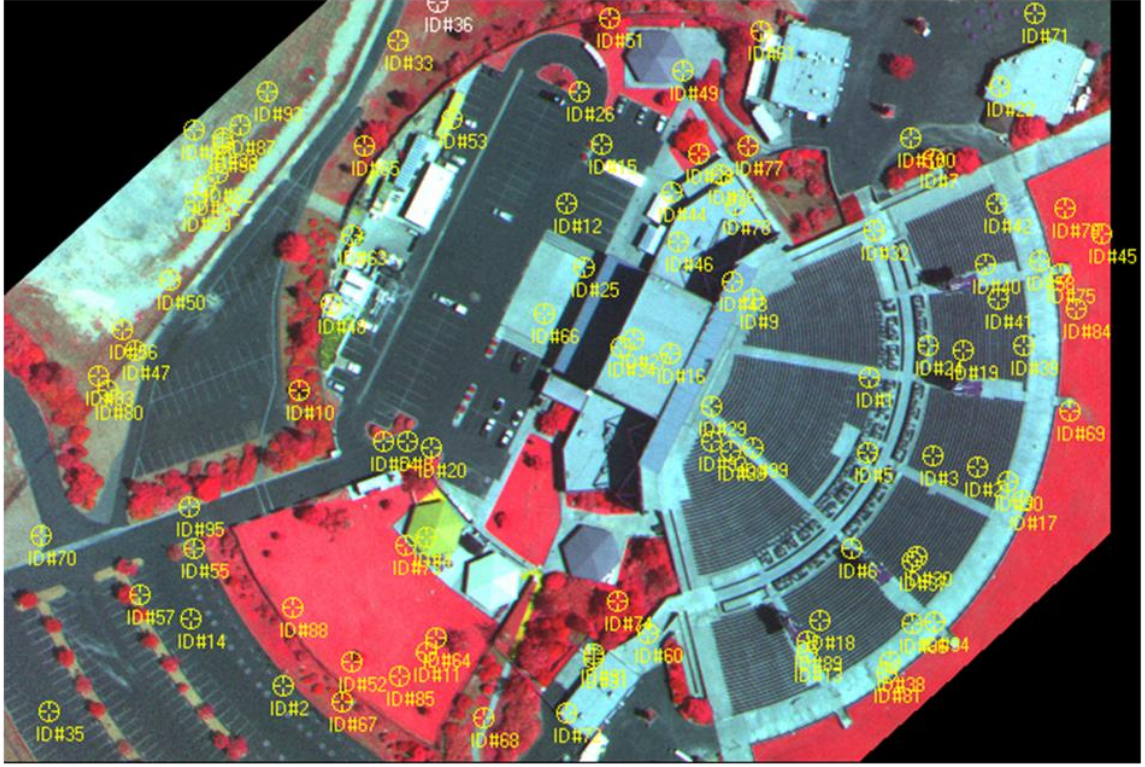
düşük bir değer elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer bina çıkarımı için yeterli (kabul edilebilir) bir sınıflandırma sonucu değildir.



Şekil 4. 6 Sayısal görüntü kullanılarak 5 sınıf için yapılan kontrollü sınıflandırma



Şekil 4. 7 Doğruluk analizi için yeniden kodlama (recode) işlemi yapılmış görüntü



Şekil 4. 8 Doğruluk analizi için referans veri üzerinde alınan kontrol noktaları

Çizelge 4. 3 Doğruluk analizi

Sınıf Adı	Referans Nokta Sayısı	Sınıflandırılmış Nokta Sayısı	Doğrulan Nokta Sayısı	Üretici Doğruluğu (%)	Kullanıcı Doğruluğu (%)	Kappa istatistiği (%)
Bina	9	20	9	100	45	40
Yeşil alan	20	20	19	95	95	94
Zemin	20	20	9	45	45	31
Anfi tiyatro	32	20	13	41	65	49
Toprak alan	19	20	18	95	90	88
Toplam	100	100				

Toplam sınıflandırma doğruluğu: %68

Toplam Kappa istatistiği: %60

4.3 Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak dört farklı yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımlar aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır;

1. Sadece sayısal görüntü kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma
2. Sadece sayısal görüntü kullanılarak sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek görüntüler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma
3. Sadece LiDAR verileri (YM ve intensity) kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma
4. Çoklu algılama seti verileri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı.

4.3.1 Parametrelerin Tespit Edilmesi

Yaklaşımlarda kullanılan parametre değerleri yapılan analizler sonucu belirlenmiştir. Yapılan parametre analizlerinden üç tane analiz örnek olarak aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

1. Segmentasyon parametre analizleri
2. Sınıflandırma eşik değeri parametre analizleri
3. Sınıflandırma Bulanık Mantık parametre analizleri

4.3.1.1 Segmentasyon Parametre Analizleri

Sadece sayısal görüntü kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile bina çıkarımı yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşımda öncelikle farklı segmentasyon yöntemi olan Satranç tahtası ve Dörtlü ağaç için ölçek parametre analizleri yapılmıştır (Çizelge.4.4). Segmentasyon yöntemi ve çeşitlerini içeren teori kısmı, yapılan tez çalışmasının ikinci bölüm, Sayısal görüntü işleme yöntemleri konu başlığı altında Segmentasyon alt başlığında detaylı bir şekilde verilmiştir. Satranç tahtası segmentasyonu analizlerinde ölçek değeri (5, 10, 15) için analizler yapılmış ve bu analizler sonucunda oluşturulan segmentlerin objeyi en ideal şekilde temsil edilmesi dikkate alınmıştır. Ölçek parametresi, görüntünün çözünürlüğüne bağlı olarak verilmiştir. Şekil 4.9'da bu parametre 5 olarak alındığında, objelerin çok fazla segment ile temsil edilmesi ve istenmeyen detayların sınıf karışıklığına neden olabileceği gözlenmiştir. Özellikle bina sınırlarında oluşan segmentlerin hangi sınıfa ait olacağı

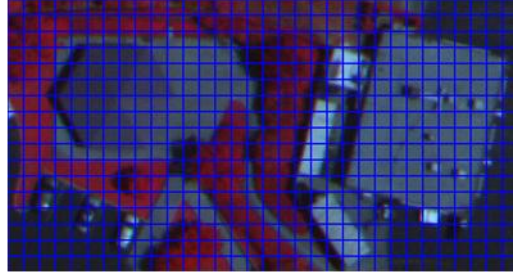
sorunu mevcuttur. Ölçek parametresi 10 değerine yükseltildiğinde ise Şekil 4.10'da görüldüğü gibi objeleri temsil eden segmentlerin boyutu büyümüş ve segment sayısı azalmıştır. Ayrıca, binayı temsil eden segmentlerin, bu ölçek değeri kullanıldığında daha uygun olduğu görülmüştür. Satranç segmentasyonunun son analizi ise ölçek parametresinin 15 olarak alınmasıdır. Bu analiz Şekil 4.11'de görüldüğü gibi segmentlerin boyutunun büyütülmesi ile obje detayların kaybına neden olmaktadır. Ayrıca, bina sınırları ve gölgelerin aynı segment altında toplanması ile sınıf karışıklığı oluşmasına ortam yaratılmaktadır. Sonuçta, Satranç tahtası yöntemi kullanılarak farklı parametreler kullanıldığında mevcut görüntü üzerindeki sonuçları analiz edilmiş ve Satranç tahtası segmentasyonu ölçek değeri 10 alındığında mevcut görüntü için uygun segmentler elde edildiği gözlenmiştir.

Çizelge 4. 4 Segmentasyon için yöntem ve parametre analizi

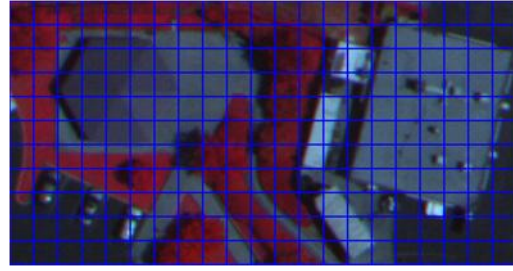
Segmentasyon		
Yöntem ve Parametre Analizi		
Yöntem	Parametreler	Şekil No
	Ölçek	
Satranç tahtası	5	Şekil 4. 9
	10	Şekil 4. 10
	15	Şekil 4. 11
Dörtlü ağaç	25	Şekil 4. 12
	50	Şekil 4. 13
	75	Şekil 4. 14



Şekil 4. 9 Satranç tahtası ölçek 5

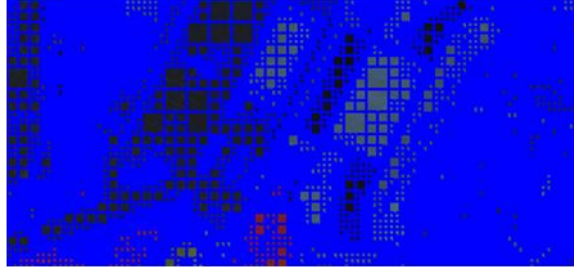


Şekil 4. 10 Satranç tahtası ölçek 10

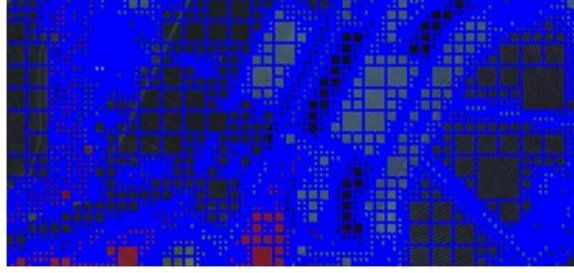


Şekil 4. 11 Satranç tahtası ölçek 15

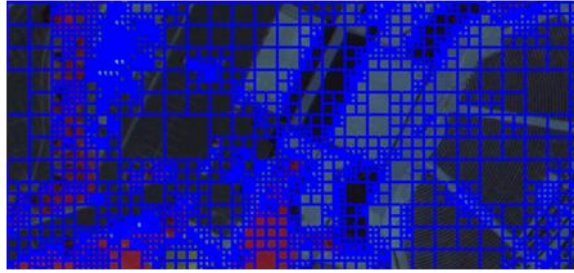
Bir başka segmentasyon yöntemi ise dörtlü ağaç tabanlı grid yapısına göre görüntüyü gruplara ayıran dörtlü ağaç yöntemidir. Bu yöntemde için ölçek parametre değerleri ise (25, 50, 75) olarak alınmıştır. Dörtlü ağaç segmentasyonunun ilk analizi ölçek değeri 25 olarak alındığında homojenlik kriterini dikkate alan yöntem birbirlerine çok yakın olan değerler için segment oluştururken farklı değerlerdeki segmentler için ise farklı kareler ile temsilini sağlar. (Şekil 4.12). Bu durum ölçek büyüdükçe daha geniş yer kaplayan objelerde çözüm olabilirken, binaların temsilinde veri kaybı nedeniyle hatalı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.13, Şekil 4.14). Yapılan bu analizler sonucunda, mevcut görüntüde ölçek değeri büyüdükçe objeleri temsil eden dörtlü ağaç şeklindeki segmentlerinde büyümesi ile aynı objeyi temsil eden segmentlerin farklı bir obje şeklinde oluşturulmasına sebep olmuştur. Bu analiz sonucunda, mevcut görüntü için ölçek değeri 25 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. 12 Dörtlü ağaç ölçek 25



Şekil 4. 13 Dörtlü ağaç ölçek 50



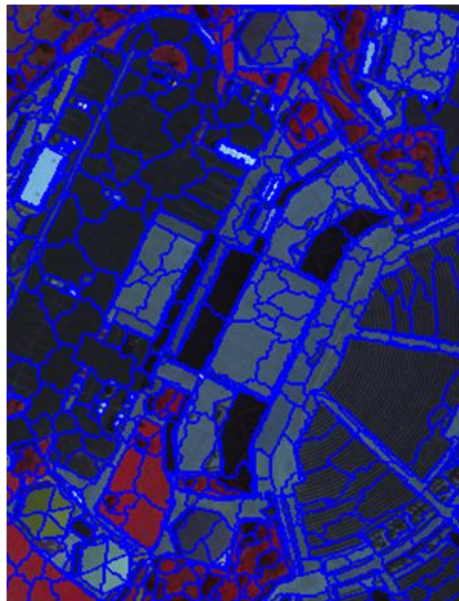
Şekil 4. 14 Dörtlü ağaç ölçek 75

Nesne tabanlı sınıflandırmada yaygın olarak kullanılan segmentasyon yöntemi Çoklu çözünürlüklü segmentasyondur. Bunun sebebi ise segmentlerin birden çok kritere bağlı olarak oluşturulmasıdır. Böylece, objeler için ideal segmentler birden çok kriter yardımıyla sağlanmış olur. Bu yöntemde ölçek, şekil ve bütünlük parametreleri analiz edilmiştir.

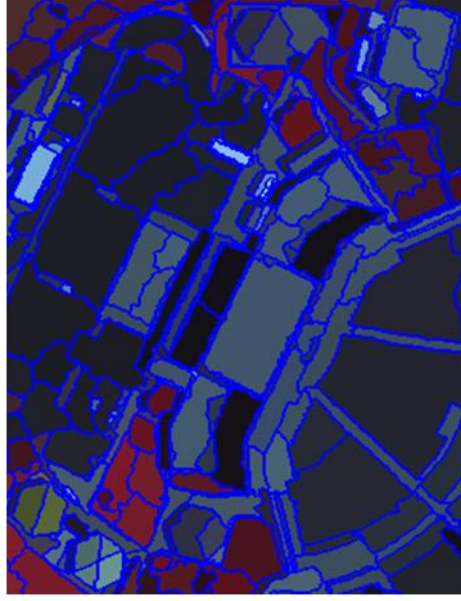
Çizelge 4.5’de çoklu çözünürlüklü segmentasyon için yöntem ve parametre analizi sonuçları verilmiştir. Birinci aşamada, şekil ve bütünlük değeri sabit (0.5) alınarak ölçek değeri (25, 50, 75) için analizler yapılmıştır. Şekil.4.15’de ölçek değeri 25 olarak alınan segmentasyon sonucu verilmiştir. Şekil.4.16 ve Şekil.4.17’de ise ölçek değeri 50 ve 75 olarak alınan sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde ölçek değeri büyüdükçe objeleri temsil eden segmentlerinde büyümesi objeler arasındaki farklılıkları belirten segmentlerin ortadan kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bu analiz sonucunda, mevcut görüntü için ölçek değeri 25 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 5 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon için yöntem ve parametre analizi

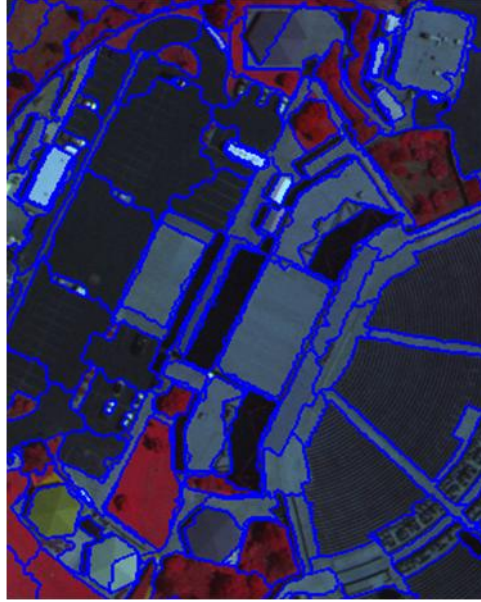
Segmentasyon				
Yöntem ve Parametre Analizi				
Yöntem	Parametreler			Şekil No
	Ölçek	Şekil	Bütünlük	
Çoklu çözünürlüklü segmentasyon (şekil ve bütünlük sabit)	25	0.5	0.5	Şekil 4. 15
	50	0.5	0.5	Şekil 4. 16
	75	0.5	0.5	Şekil 4. 17
Analiz Sonucu:	25	0.5	0.5	
Çoklu çözünürlüklü segmentasyon (ölçek sabit)	Ölçek	Şekil	Bütünlük	
	25	0.9	0.1	Şekil 4. 18
	25	0.1	0.9	Şekil 4. 19
	25	0.5	0.5	Şekil 4. 15
	25	0.4	0.6	Şekil 4. 20
Sonuç: Çoklu çözünürlüklü segmentasyonu parametre değerleri ölçek: 25, Şekil:0.4, Bütünlük: 0.6				



Şekil 4. 15 Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,5 bütünlük 0,5



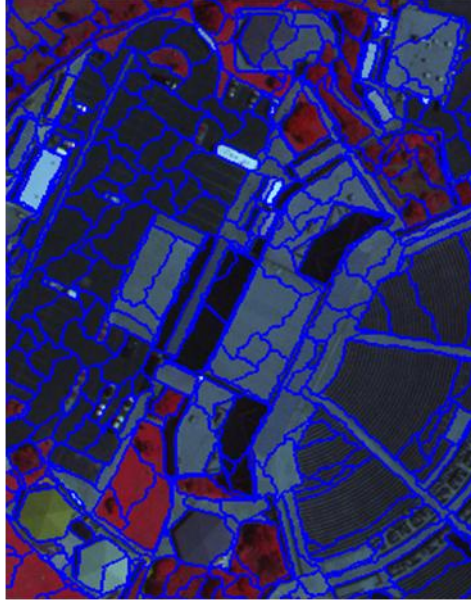
Şekil 4. 16 Çoklu segmentasyon ölçek 50 şekil 0,5 bütünlük 0,5



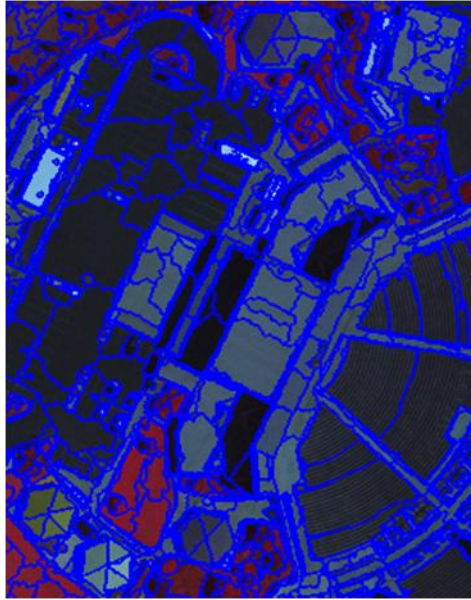
Şekil 4. 17 Çoklu segmentasyon ölçek 75 şekil 0,5 bütünlük 0,5

Çizelge 4.5’de çoklu çözünürlüklü segmentasyon için yöntem ve parametre analizinin ikinci aşamasında, ölçek değeri sabit 25 alınarak şekil ve bütünlük parametre değerleri analiz edilmiştir. Çoklu çözünürlüklü segmentasyonun iki farklı parametresi olan şekil ve bütünlük değerleri için minimum ve maksimum (0.1 ve 0.9) değerler verilerek mevcut görüntü için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucu elde edilen segmentler ideal segmentlerin oluşturulmasına yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır. Şekil.4.18 ve Şekil.4.19 bu analizlerin sonunda oluşan görüntülerdir. Şekil ve bütünlük parametrelerindeki değişim ile segmentler üzerindeki etkileri incelendiğinde eşit

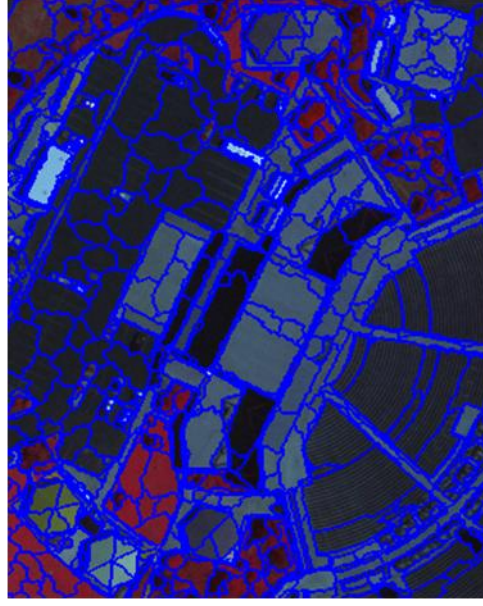
parametre dağılımı ile oluşturulan segmentlerin objeleri daha iyi temsil ettiği gözlenmiştir. Son olarak mevcut görüntü için segmentlerin iyileştirme aşamasında ölçek:25, şekil:0.4, bütünlük:0.6 parametre değerlerinin çoklu çözünürlüklü segmentasyon için uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4. 18 Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,9 bütünlük 0,1



Şekil 4. 19 Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,1 bütünlük 0,9



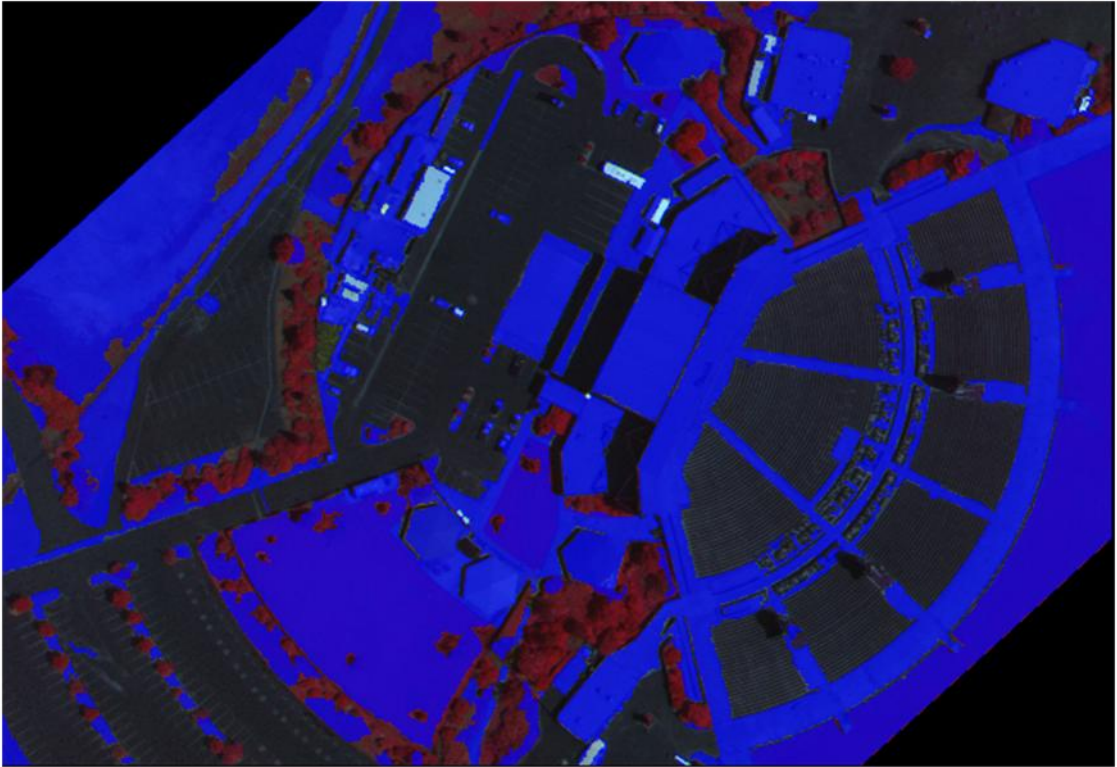
Şekil 4. 20 Çoklu segmentasyon ölçek 25 şekil 0,4 bütünlük 0,6

4.3.1.2 Sınıflandırma Eşik Değeri Parametre Analizleri

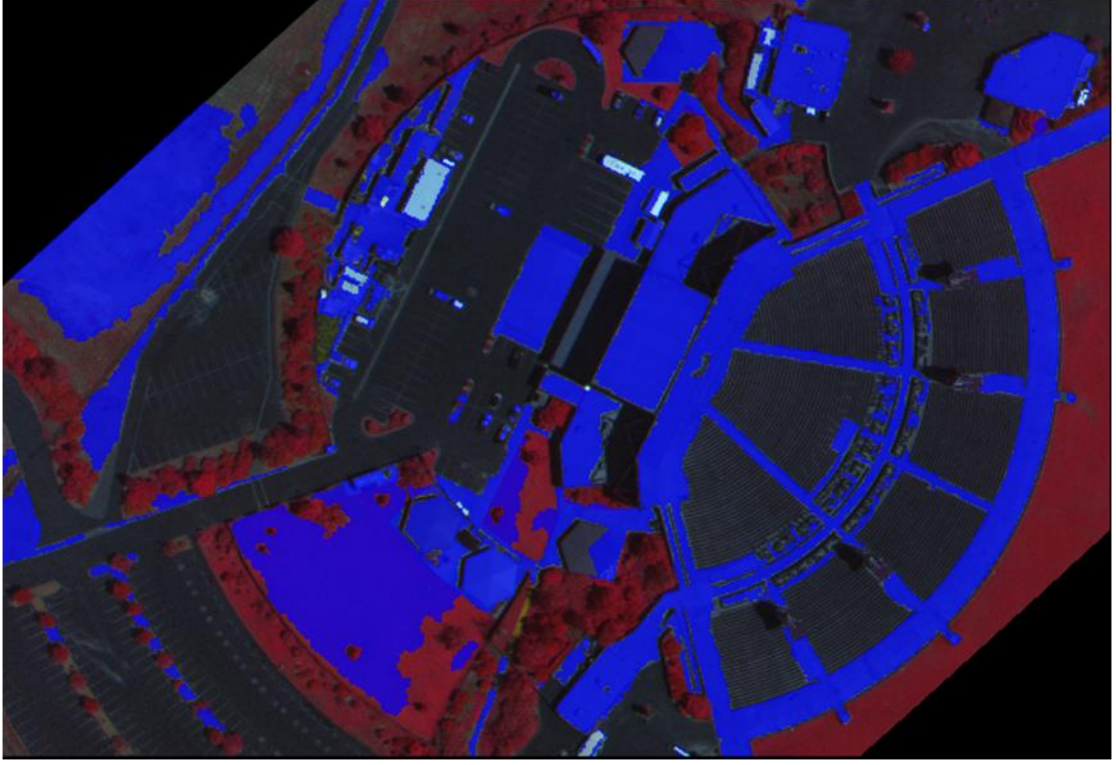
Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde segmentasyon analizi yapıldıktan sonra belirlenen segmentlerden sınıf oluşturma aşamasına geçilir. Sadece sayısal görüntü kullanıldığında sınıflandırma için eşik değeri (p_i) kullanılır. Bu değerin analizi Çizelge 4.6'da üç farklı parametre kullanılarak analiz edilmiştir. Birinci analiz incelendiğinde oluşturulan bina sınıfı içine aynı eşik değerini içeren yeşil alan ve zemin sınıfına ait objelerin karıştığı tespit edilmiştir (Şekil.4.21). Bu aralık iki no'lu analiz ile değiştirildiğinde ise yeşil alanı oluşturan bir grup objelerin bina sınıfından ayrıldığını fakat binaların yakalanmasında ise eksiklikler olduğu gözlenmiştir. Üç no'lu analiz bina sınıfının yeşil alan sınıfından ayrıldığı fakat zemin ile karışan sınıfların mevcut olduğu gözlenmiştir. Bina sınıfının oluşturulması için yapılan diğer analizlerde bina veri kaybı fazla olduğundan analiz sonucu kullanılan eşik değeri $73 \leq p \leq 142$ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 6 Sınıflandırma için eşik değeri analizi

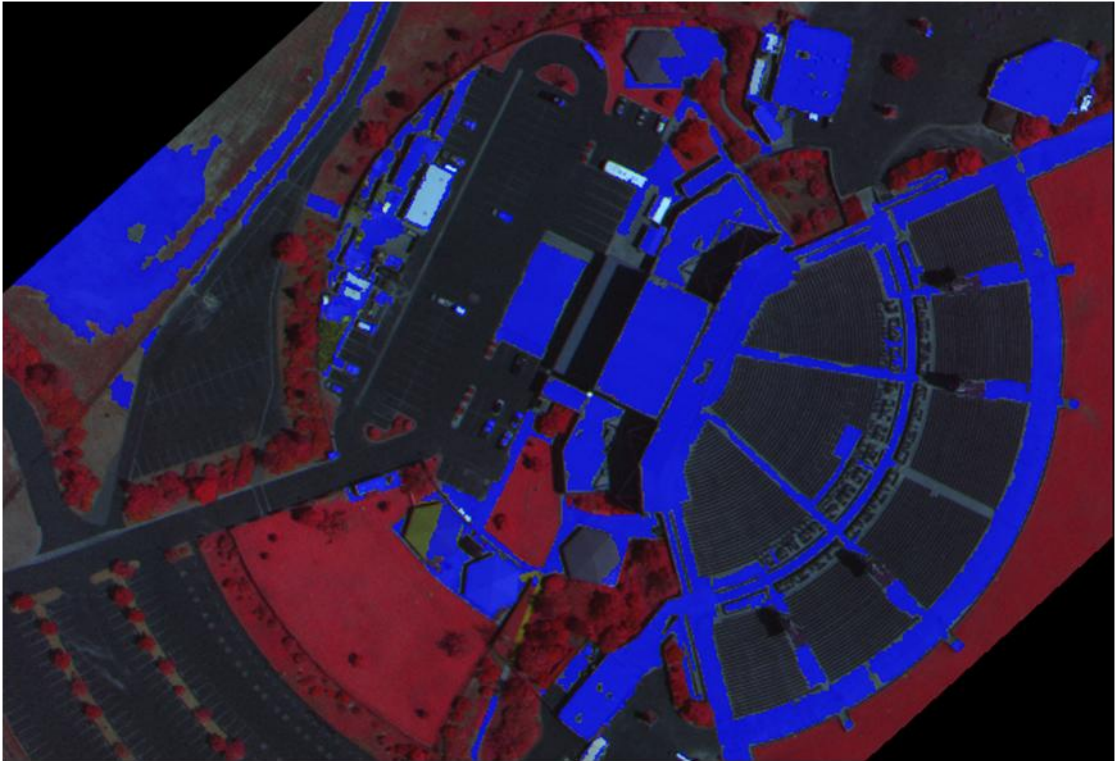
Sınıflandırma		
Eşik Değeri (Brightness Threshold) Analizi		
No	Aralık Değeri	Şekil No
1	$52 \leq p_1 \leq 142$	Şekil 4.21
2	$63 \leq p_2 \leq 142$	Şekil 4.22
3	$73 \leq p_3 \leq 142$	Şekil 4.23
Analiz sonucu kullanılan eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$		



Şekil 4. 21 Eşik değeri analizi $52 \leq p_1 \leq 142$



Şekil 4. 22 Eşik değeri analizi $63 \leq p1 \leq 142$



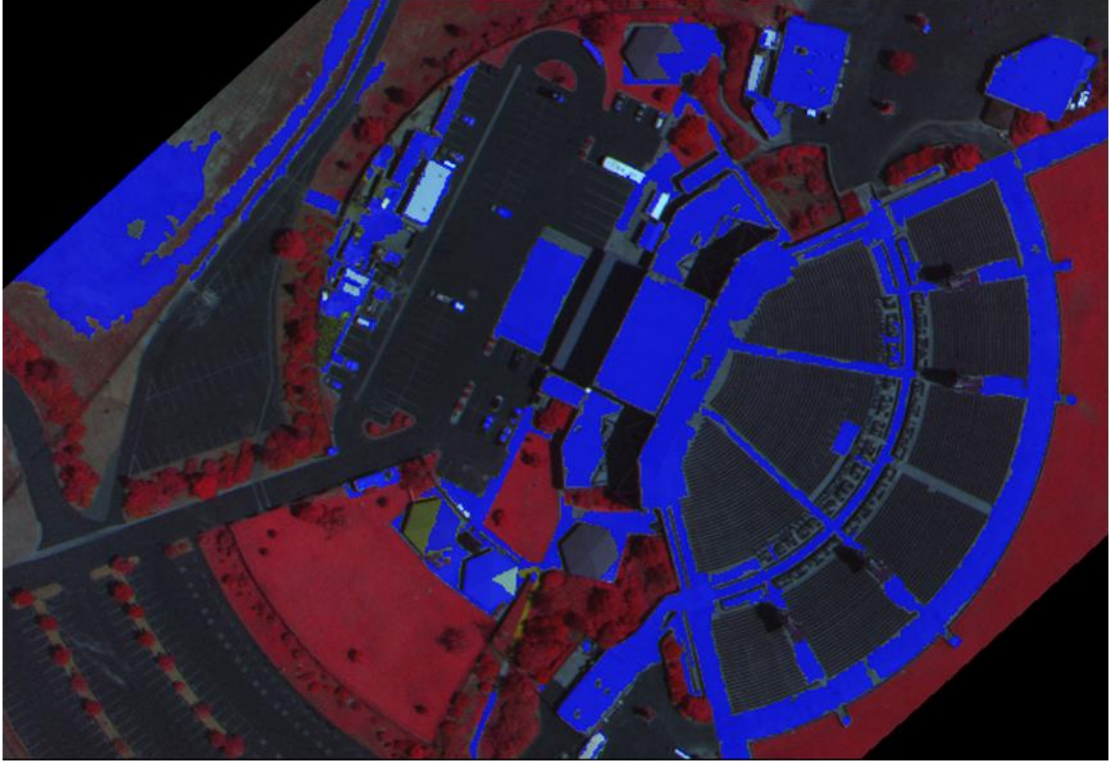
Şekil 4. 23 Eşik değeri analizi $73 \leq p1 \leq 142$

4.3.1.3 Sınıflandırma Bulanık Mantık Parametre Analizleri

Sınıflandırma işlemi, klasik ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak uygulanabilir. Bu iki sınıflandırma sonuçları arasındaki farkların tespit edilmesi amaçlı farklı yaklaşımlar yapılmıştır. Bu yaklaşımlar için öncelikle bulanık mantık ile sınıflandırma aşamasında kullanılacak parametrenin tespit edilmesi gereklidir [108]. Bu aşamada Çizelge 4.7’de belirtilen dört farklı yöntem üzerinde analizler yapılmıştır. Bu analizler bir önceki Çizelge 4. 8’de analiz sonucu kullanılan eşik değeri baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık için yapılan analizlerde yaklaşık aralık (About range) tam aralık (Full range), doğrusal aralık (Linear range) ve yaklaşık Gauss (Approximate Gauss) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin sonuç görüntüleri ise sıra ile Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

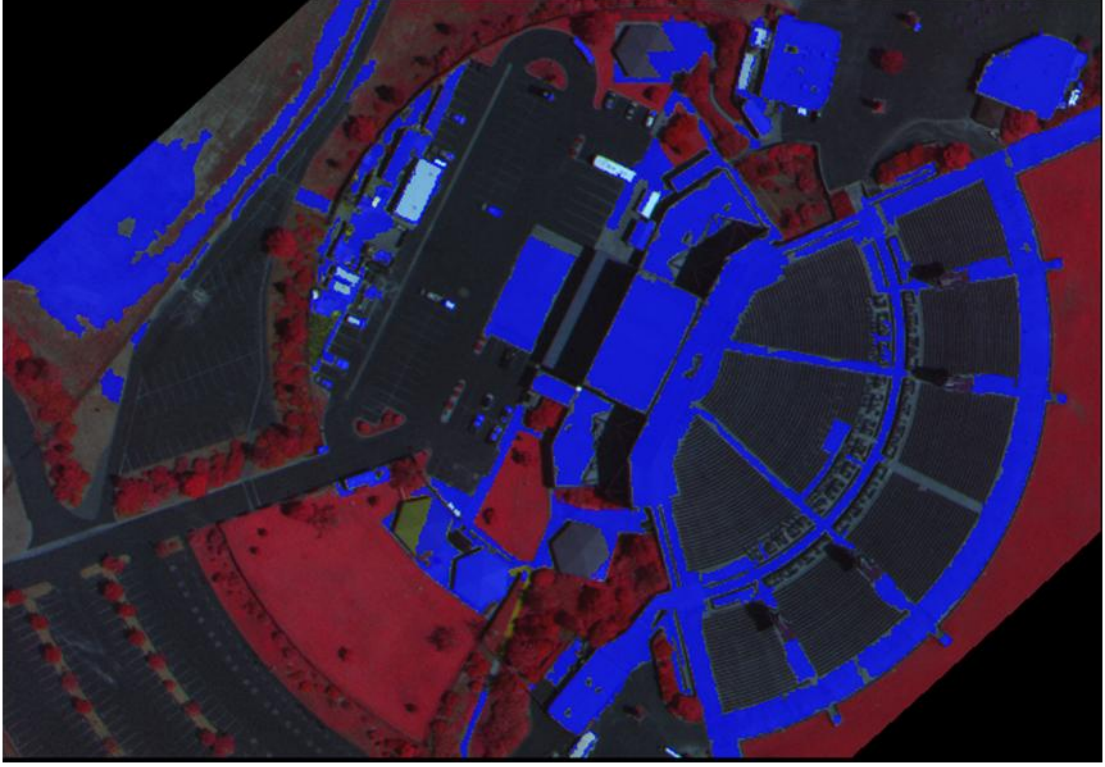
Çizelge 4. 7 Sınıflandırma için Bulanık Mantık parametre analizi

Sınıflandırma			
Bulanık Mantık Analizi		Eşik Değeri: $73 \leq p \leq 142$	
Analiz			
No	Yöntem	Grafik	Şekil No
1	Yaklaşık aralık (About range)		Şekil 4. 24
2	Tam aralık (Full range)		Şekil 4. 25
3	Doğrusal aralık (Linear range)		Şekil 4. 26
4	Yaklaşık Gauss (Approximate Gauss)		Şekil 4. 27
Analiz sonucu kullanılan bulanık mantık yöntemi: Yaklaşık Gauss			

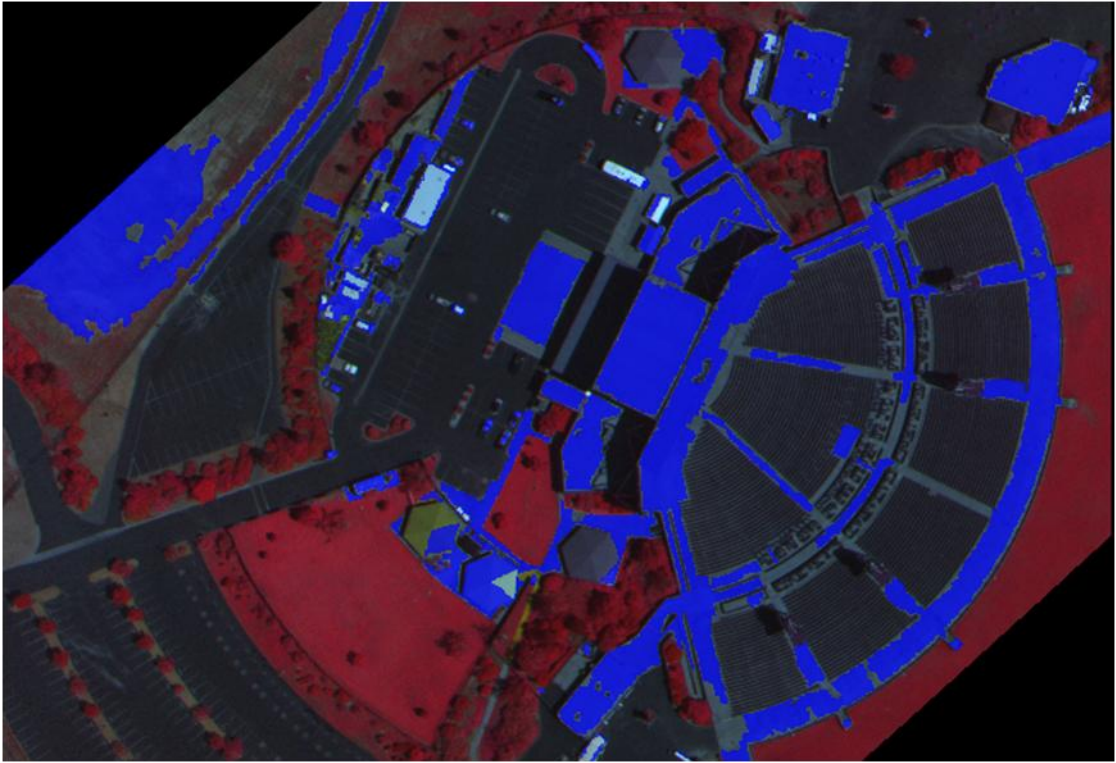


Şekil 4. 24 Bulanık mantık analiz 1 yaklaşık aralık (About range)

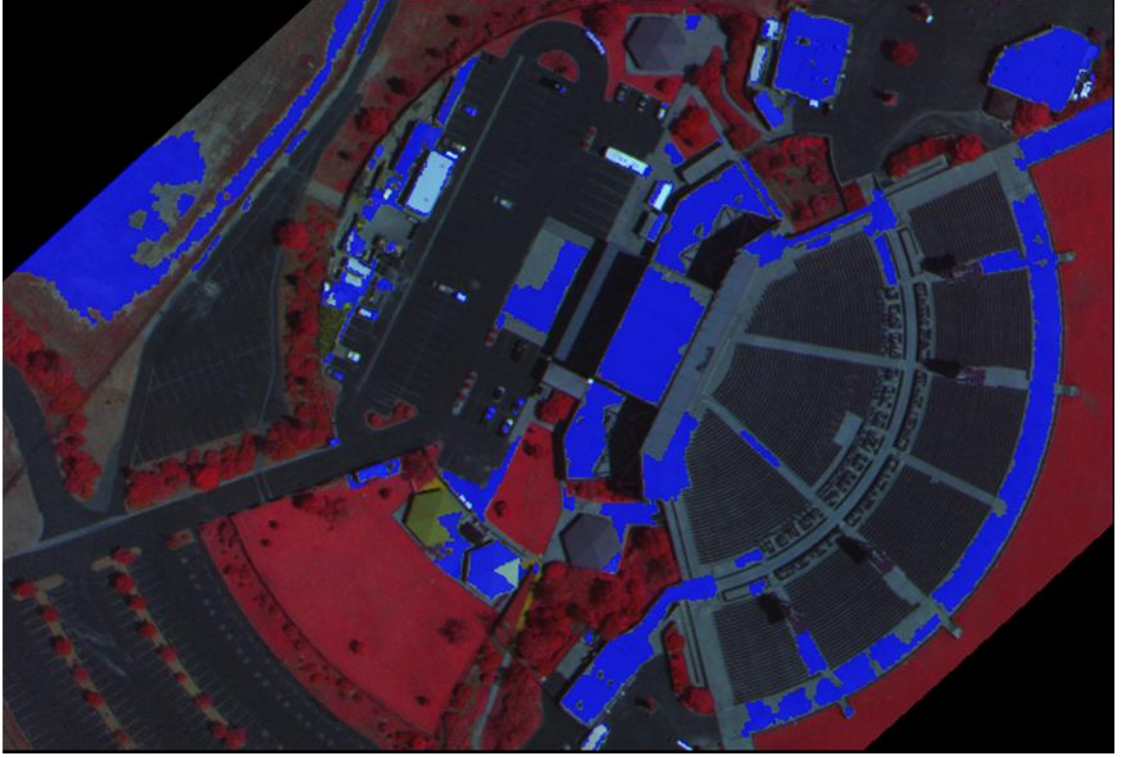
Bina olmadığı halde bina ile aynı piksel gri değerine sahip objelerin (zemin, yol ve anfitiyatro vb.) bina olarak yakalanması doğruluk analizini olumsuz yönde etkileyen önemli unsurlardan biridir. Yaklaşık aralık yöntemi ile elde edilen analizde bu problem net bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.24). Mevcut görüntüye tam aralık yöntemi uygulandığında ise yaklaşık aralık analizine göre bina olmayan objelerin elemine edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.25). Bu elemine işlemi doğrusal aralık yöntemi ile yapılan analizde daha belirginleşmektedir (Şekil 4.26). Bina olmayan objelerin elemine edilmesi işleminde bina sınıfına ait objelerde veri kaybına neden olmaktadır. Bu sorun yaklaşık Gauss analizi içinde gözlemlenmiş ve çözüm için sayısal görüntü işleme yöntemleri (bölge genişletme, yumuşatma, basitleştirme vb.) kullanılmaktadır. Bu analizler sonucunda yaklaşık Gauss yöntemi ile elde edilen sonuç diğerlerine göre daha anlamlı sonuç verdiği için bulanık mantık ile gerçekleştirilen sınıflandırmalarda yaklaşık Gauss yöntemi seçilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4. 25 Bulanık mantık analiz 2 tam aralık (Full range)



Şekil 4. 26 Bulanık mantık analiz 3 doğrusal aralık (Linear range)



Şekil 4. 27 Bulanık mantık analiz 4 yaklaşık Gauss (Approximate Gauss)

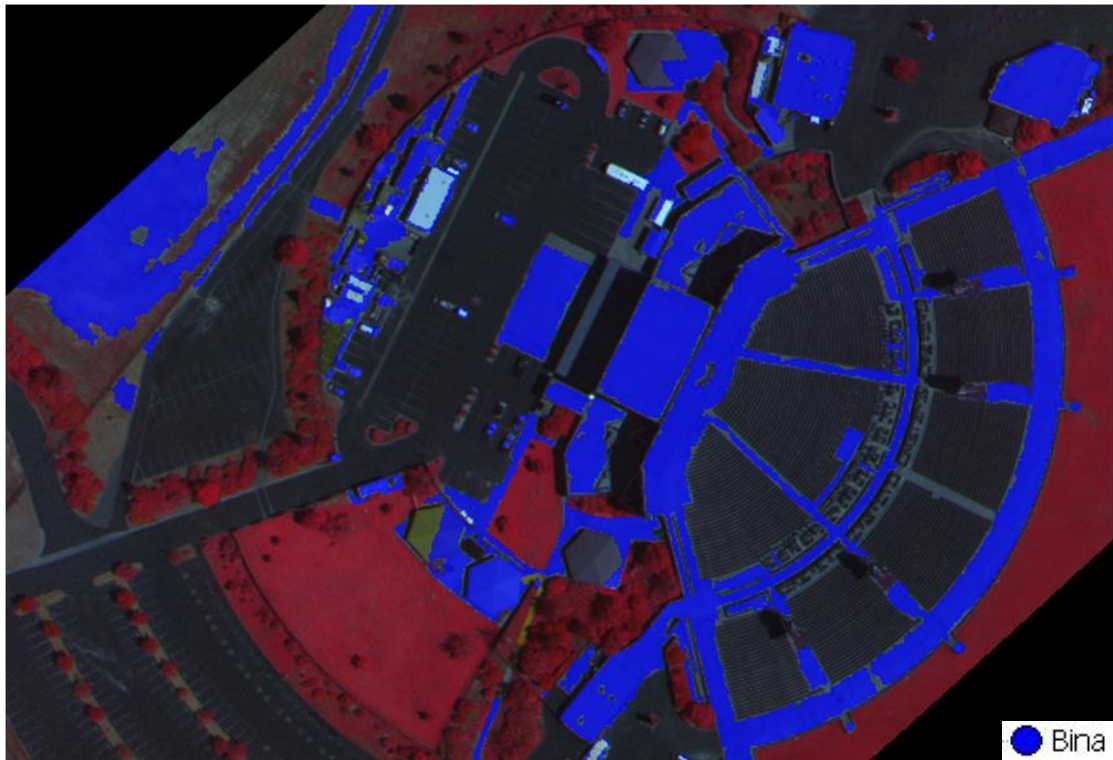
4.3.2 Yaklaşım 1: Sadece Sayısal Görüntü Kullanılarak Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Sadece sayısal görüntü kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile bina çıkarımı yaklaşımında çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve Dörtlü ağaç segmentasyonu ayrı ayrı kullanılarak klasik ve bulanık mantık yöntemi ile sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Bu yaklaşımda daha önce yapılan segmentasyon ve sınıflandırma analizleri sonucu belirlenen parametreler kullanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma işlemi ile gerçekleştirilen analizler ve sınıflandırma sonucunda elde edilen Kappa değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 Sadece sayısal görüntü kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma

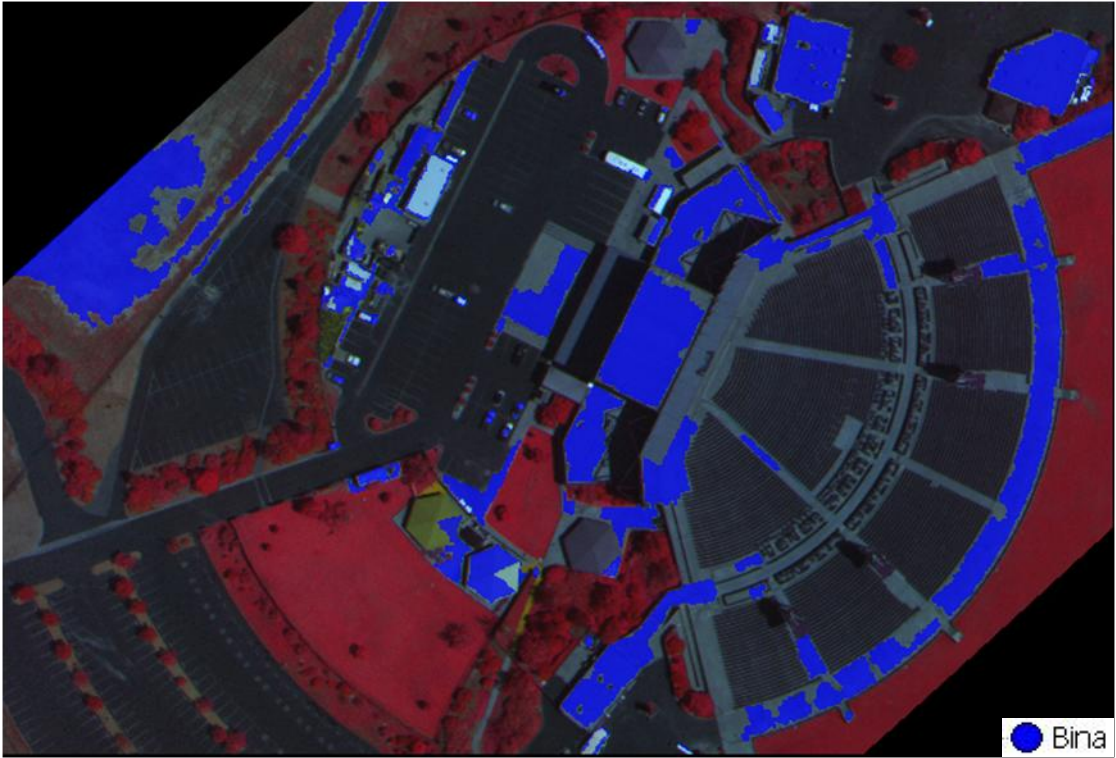
SEGMENTASYON				SINIFLANDIRMA			
Yöntem	Parametreler			Yöntem		Doğruluk	
	Ölçek	Şekil	Bütünlük	Klasik sınıflandırma	Bulanık Mantık ile sınıflandırma	Klasik sınıflandırma	Bulanık Mantık
Çoklu çözünürlüklü	25	0.4	0.6	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142, \{0,1\}$	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142, [0,1]$	%46	%62
Dörtlü ağaç	25	-	-	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142, \{0,1\}$	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142, [0,1]$	%51	%41

Şekil 4.28’de çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve klasik sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflandırma sonucu verilmiştir. Bu sınıflandırma sonucu incelendiğinde eksik binaların olduğu tesit edilmiştir. Ayrıca bina ile aynı yansıma değerine sahip bina giriş zemini, bina olarak elde edilmiştir. Bu sınıf karışıklığı özellikle sadece sayısal görüntü kullanılan sınıflandırmalarda yaygın olarak karşılaşılan bir sorundur. Bina olmayan fakat bina sınıfı olarak sınıflandırılan toprak, zemin, konteyner vb. objelerde mevcuttur. Bu sınıf karışıkları sonucunda klasik sınıflandırma sonucu %46 olarak elde edilmiştir.



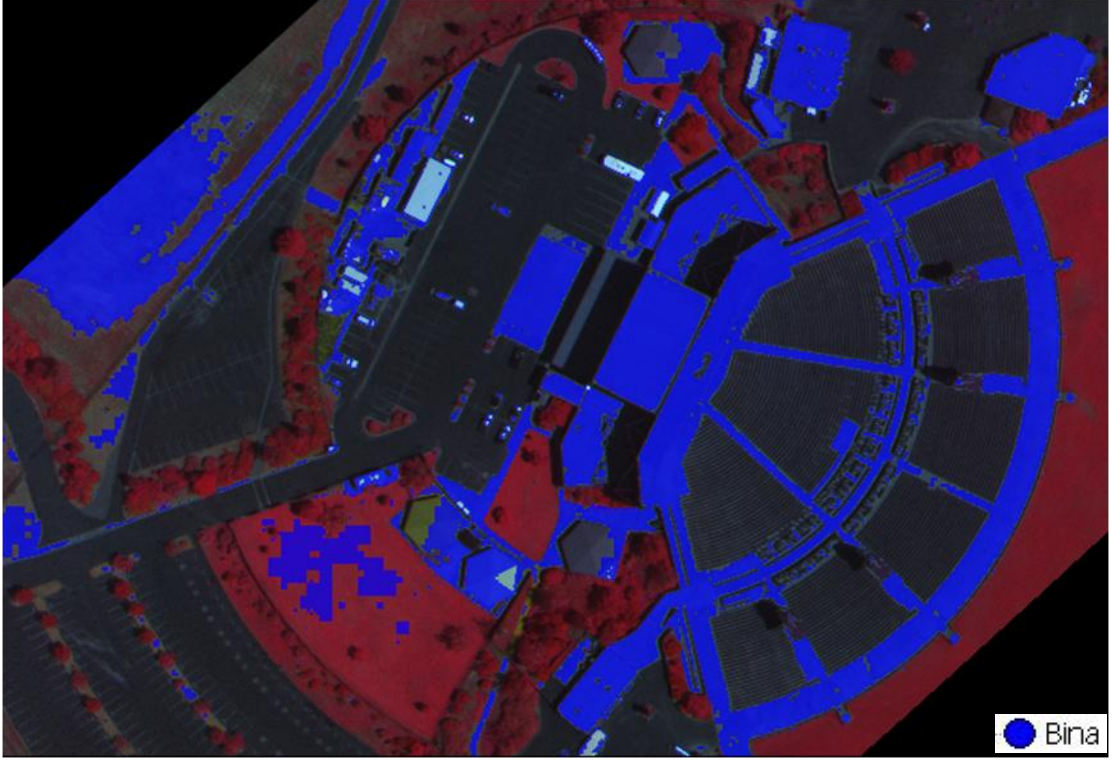
Şekil 4. 28 Yaklaşım 1:Çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve sınıflandırma sonucu bina sınıfı

Şekil 4.29'da çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve bulanık mantık yöntemiyle sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflandırma sonucu verilmiştir. Bu sınıflandırma sonucu, bir önceki analize göre zemin ve diğer objeler ile karışıklık daha azdır. Bu durumun sebebi ise Bulanık mantık yönteminden kaynaklanan farklı üyelik değerlerine göre objelerin sınıflandırılmasıdır. Böylece klasik sınıflandırmaya göre sınıflandırma sonucunda iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Fakat bu durum eksik çıkan binalar üzerinde olumlu bir gelişme sağlayamamıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk ise %62'dir.



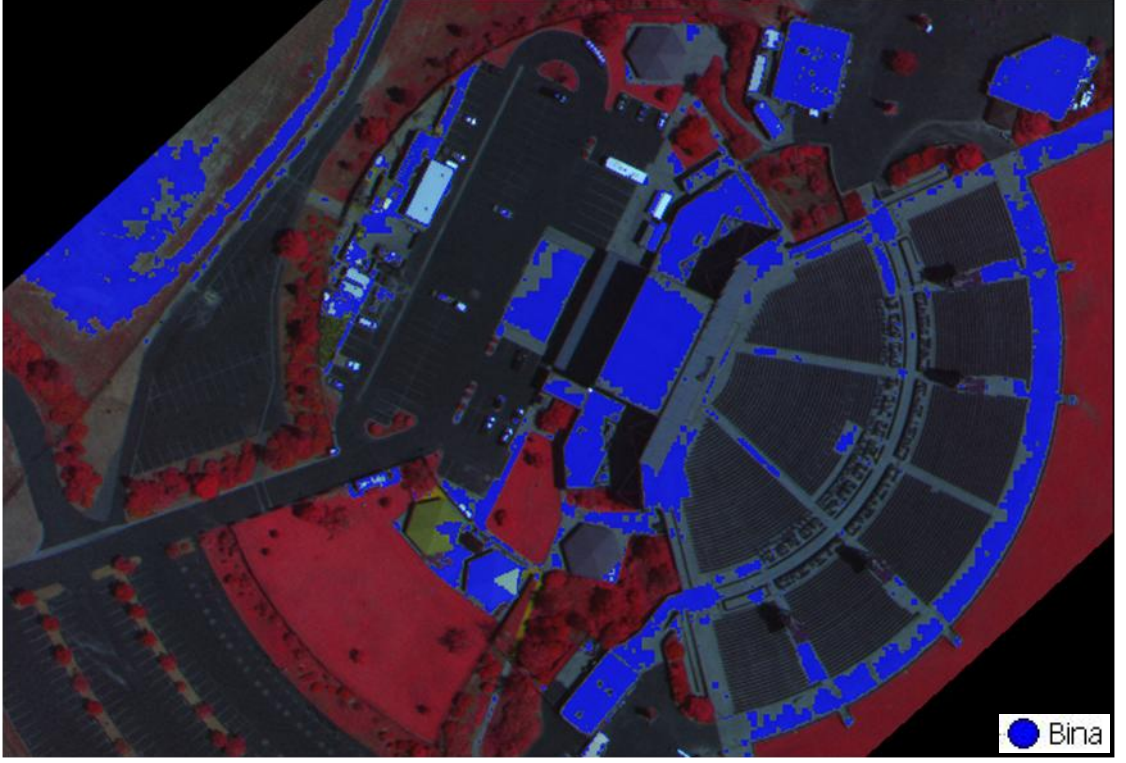
Şekil 4. 29 Çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma sonucu bina sınıfı

Şekil 4.30'da dörtlü ağaç segmentasyonu ve klasik sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflandırma sonucu verilmiştir. Bu sınıflandırma sonucunda, bina sınıfına toprak, zemin sınıfını temsil eden objelerin yanında yeşil alan sınıfına dahil olan objelerinde hatalı sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Mevcut binaları temsil eden bazı objelerin eksik olduğu gözlenmiştir. Bu sınıf karışıkları sonucunda klasik sınıflandırma sonucu %51 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 30 Dörtlü ağaç segmentasyon ve sınıflandırma sonucu bina sınıfı

Şekil 4.31’de dörtlü ağaç segmentasyonu ve bulanık mantık yöntemiyle elde edilen sınıflandırma sonucu verilmiştir. Bu sınıflandırma sonucu, bir önceki analize göre yeşil alanı temsil eden objeler ile olan karışıklık ortadan kalkmıştır. Ayrıca, toprak, zemin ve bina olmayan fakat bina sınıfı içinde yer alan objelerde de, belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum sınıf karışıklığının azalmasına sebep olurken, bina sınıfını temsil eden objelerde eksik veri (seyrelme) ile olumsuz yönde etkilediği için sınıflandırma sonucu oluşan doğruluk değeri diğer doğruluk değerlerine göre oldukça düşük bir değer olan %41 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 31 Dörtlü ağaç segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma sonucu bina sınıfı

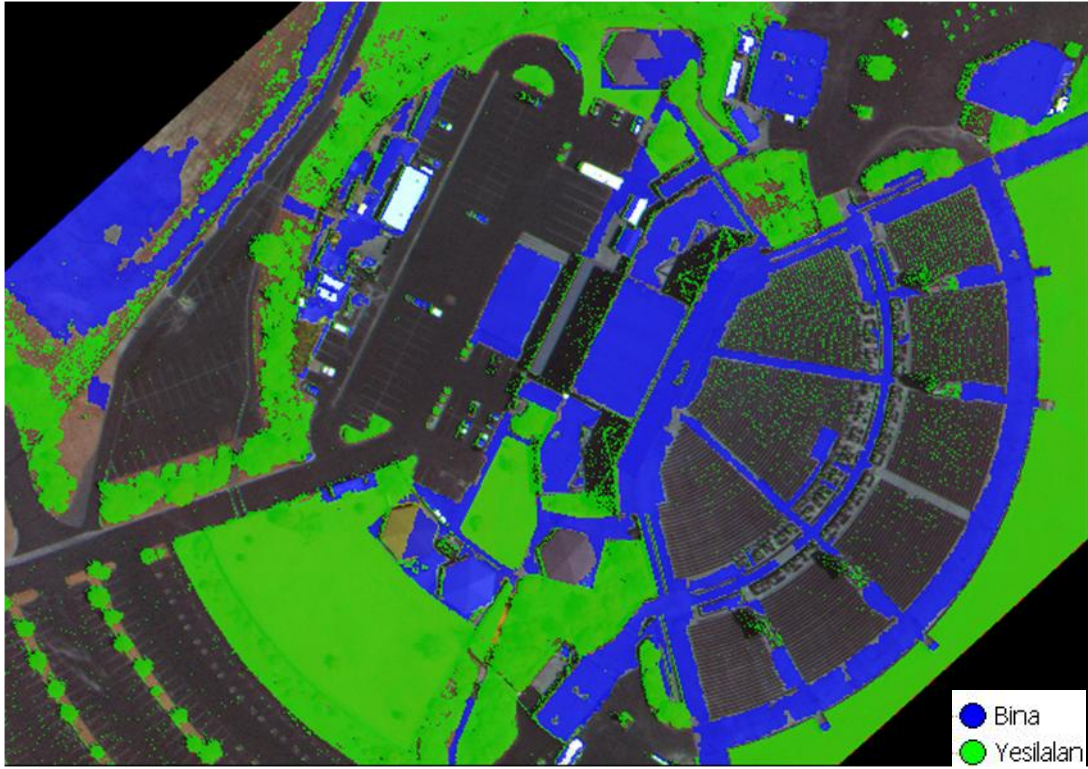
4.3.3 Yaklaşım 2: Sadece Sayısal Görüntü Kullanılarak Sayısal Görüntü İşleme Teknikleri Yardımıyla Elde Edilen Ek Görüntüler ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma

Sadece sayısal görüntü kullanılarak sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek görüntüler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımında 5 adet analiz gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.9). Bu analizler sonucu bina ve yeşil alan sınıfları oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 9 Sadece sayısal görüntü kullanılarak sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek görüntüler ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma ve elde edilen doğruluk (Kappa)

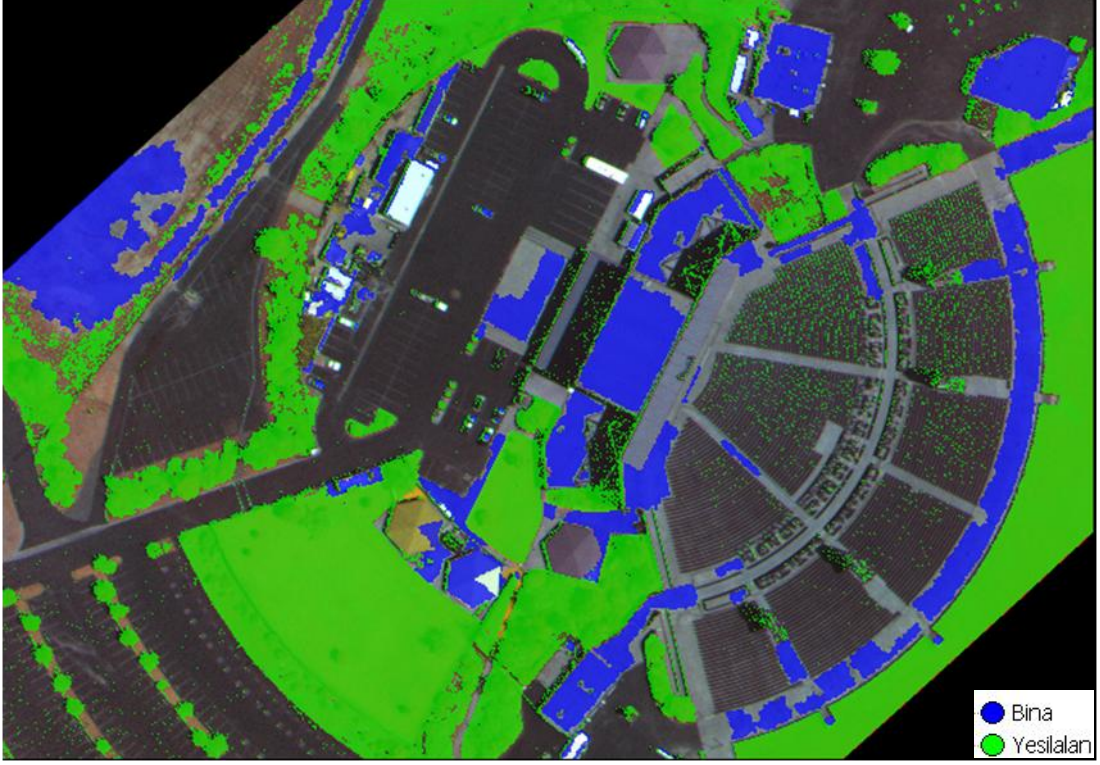
Analiz	Sınıf	Ek Veri	Segmentasyon	Sınıflandırma		Doğruluk Kappa değeri
				Klasik sınıflandırma	Bulanık mantık ile sınıflandırma	
1	Yeşilalan	NDVI görüntü	Kontrast farkı	-	Eşik değeri: $0.35 \leq n \leq 0.75$	%66
	Bina	-	Çoklu çözünürlüklü	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$	-	
2	Yeşilalan	NDVI görüntü	Kontrast farkı	-	Eşik değeri: $0.35 \leq n \leq 0.75$	%12
	Bina	-	Çoklu çözünürlüklü	-	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$	
3	Yeşilalan	NDVI görüntü	Kontrast farkı	Eşik değeri: $0.35 \leq n \leq 0.75$	-	%60
	Bina	-	Çoklu çözünürlüklü	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$	-	
4	Yeşilalan	NDVI görüntü	Kontrast farkı	-	Eşik değeri: $0.35 \leq n \leq 0.75$	%55
	Bina	Canny görüntüsü	Spektral fark Ağırlık:10	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$	-	
	Bina	Hough görüntüsü	Spektral fark Ağırlık:10	Eşik değeri: $73 \leq p \leq 142$	-	

Gerçekleştirilen ilk üç analizde yeşil alan sınıfının oluşturulmasında ek görüntü olarak NDVI sonucunda üretilen NDVI görüntüsü kullanılmıştır. Bina sınıfında ise herhangi bir ek görüntü kullanılmamıştır. Bu üç analizin birbirinden farkı ise klasik sınıflandırma ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlardır. Analiz 1’de yeşil alan sınıfı bulanık mantık, bina sınıfı ise klasik sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Şekil 4.32’de görüldüğü gibi NDVI görüntü ile yeşil alan sınıfı oluşturulması bina ile yeşil alan sınıf karışıklığını en aza indirmiştir. Bina ile aynı yansıma değerine sahip toprak zemin, asfalt zemin, konteyner vb. objeler bina sınıfı altında toplandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yeşil alan sınıfında da diğer objeler ile sınıf karışıklığı mevcuttur. Eksik binalar, gölgeler de sınıflandırmanın doğruluğunu olumsuz yönde etkileyen önemli sebeplerdendir.



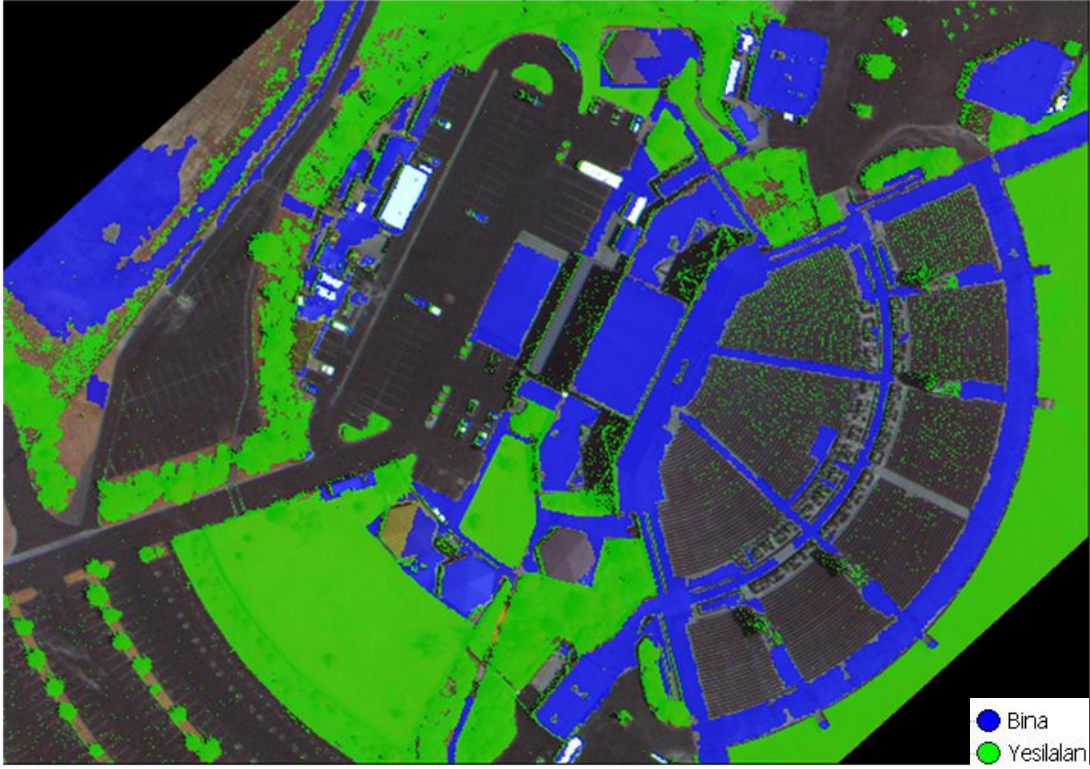
Şekil 4. 32 Yaklaşım 2 için analiz 1

Analiz 2’de yeşil alan ve bina sınıfı bulanık mantık yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Bu analiz ile 1.analiz karşılaştırıldığında yeşil alan sınıfının oluşturulmasında bulanık mantık yönteminin sınıflandırma doğruluğunu olumlu yönde etkilemesine karşın, bina sınıfında bu yöntemin uygulanması mevcut görüntü üzerinde veri kaybına neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Şekil 4.33’de görüldüğü gibi bina olmayıp da bina olarak yakalanan objelerde ilk analize göre azalma mevcuttur. Fakat genel doğruluk ele alındığında bu durum sınıflandırma sonucunu olumsuz yönde etkilemiş ve sonuç %12 olarak elde edilmiştir. Bu analiz sonucundaki doğruluk değerinin diğerlerine göre düşük çıkmasının nedeni; bina sınıfının oluşturulmasında, bulanık mantık ile seçilen ara değerlerin diğer obje sınıflarındaki değerler ile aynı veya çok yakın olmasıdır. Bu durum bina ile diğer sınıflandırılmamış sınıfların karışmasına sebep olmakta ve doğruluk analizi incelendiğinde sınıflandırılmamış obje miktarının fazla olmasından kaynaklanan hata bina sınıfı Kappa değeri %23 olarak elde edilmiş ve bu durum genel Kappa doğruluk değerini olumsuz yönde etkilemiş ve %12 değerinin çıkmasına sebep olmuştur.



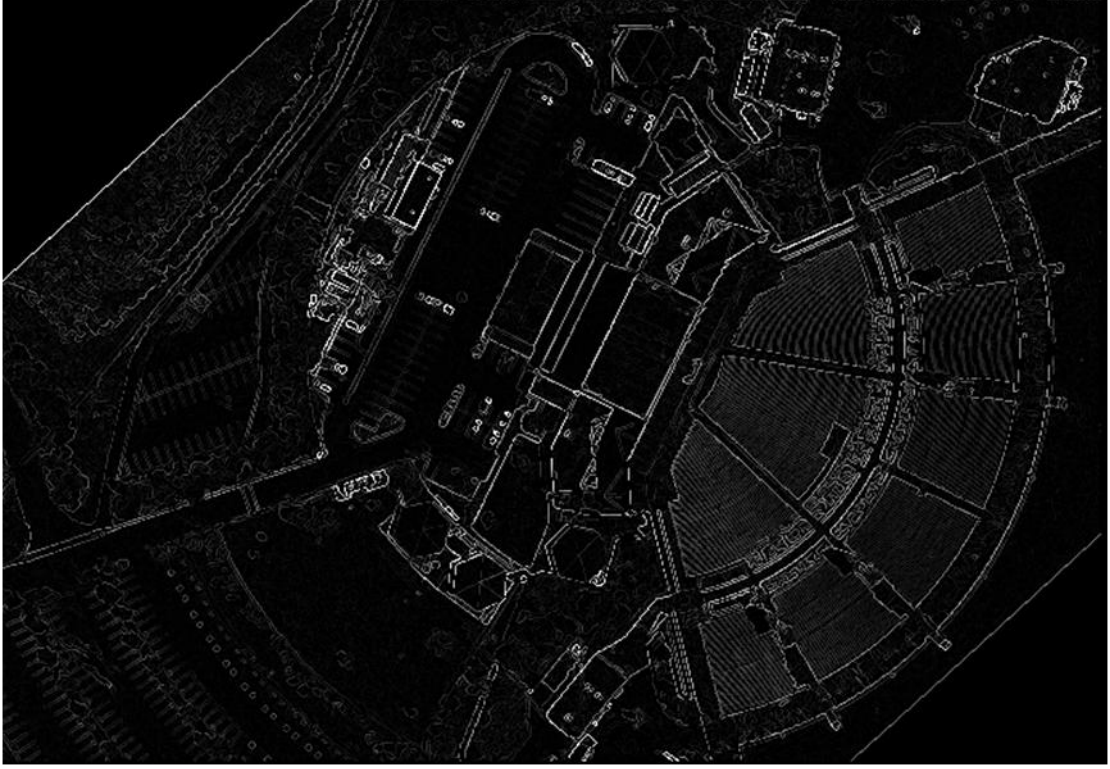
Şekil 4. 33 Yaklaşım 2 için analiz 2

Analiz 3’de yeşil alan ve bina sınıfı klasik sınıflandırma yöntem ile sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi bu analizde, bina ve yeşil alan sınıflarının oluşturulmasında bulanık mantık yerine klasik sınıflandırma kullanılmıştır. Bu analiz sonucu sınıflandırma doğruluğu ise %60 olarak elde edilmiştir. Bu sınıflandırma doğruluğu sonucu, analiz 1’e göre düşük olmasına karşı, analiz 2’ye göre daha yüksektir. Şekil 4.34’de görüldüğü gibi bu analizde de diğer iki analizde olduğu gibi sadece sayısal görüntü kullanılması, bina olmayan objelerin bina sınıfında çıkması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bir diğer önemli analiz sonucu ise yeşil alan sınıfının oluşturulmasında bulanık mantık yönteminin seçilmesi %6 oranında doğruluğu olumlu yönde etkilemiştir.

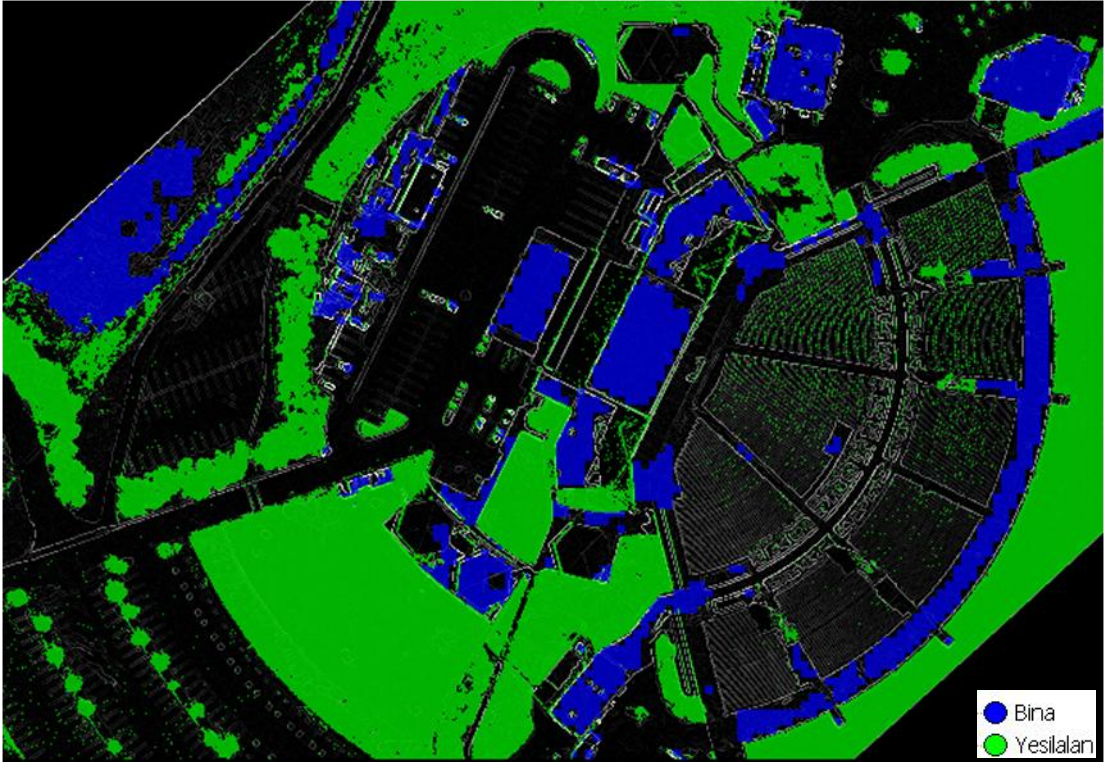


Şekil 4. 34 Yaklaşım 2 için analiz 3

Analiz 4’de ise ilk üç analizden elde edilen en yüksek doğruluk baz alınarak bu analize ek olarak Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen Canny görüntüsü dahil edilmiştir (Şekil 4.35). Şekil 4.36’de görüldüğü bu görüntünün kullanılması bina kenarlarını belirgin bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamasına karşı, bu durum sınıflandırmanın doğruluğu açısından yeterli değildir. Bu analiz ile Canny görüntüsünün bina sınıfının doğrudan oluşturulması aşamasında kullanılmasındansa, bina iyileştirilmesi aşamasında daha etkili rol oynayacağı tespit edilmiştir. Ayrıca bina sınırları yakalanmadığı için bu görüntünün kullanılması sınıflandırma doğruluğunda belirgin bir artış göstermemiştir. Bu analiz, Canny görüntüsünün gölge ve yansıma değerinden bağımsız, kenar ve çizgi yakalanmasında olumlu sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu analiz sonucu sınıflandırma doğruluğu ise %55 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 35 Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen görüntü



Şekil 4. 36 Yaklaşım 2 için analiz 4

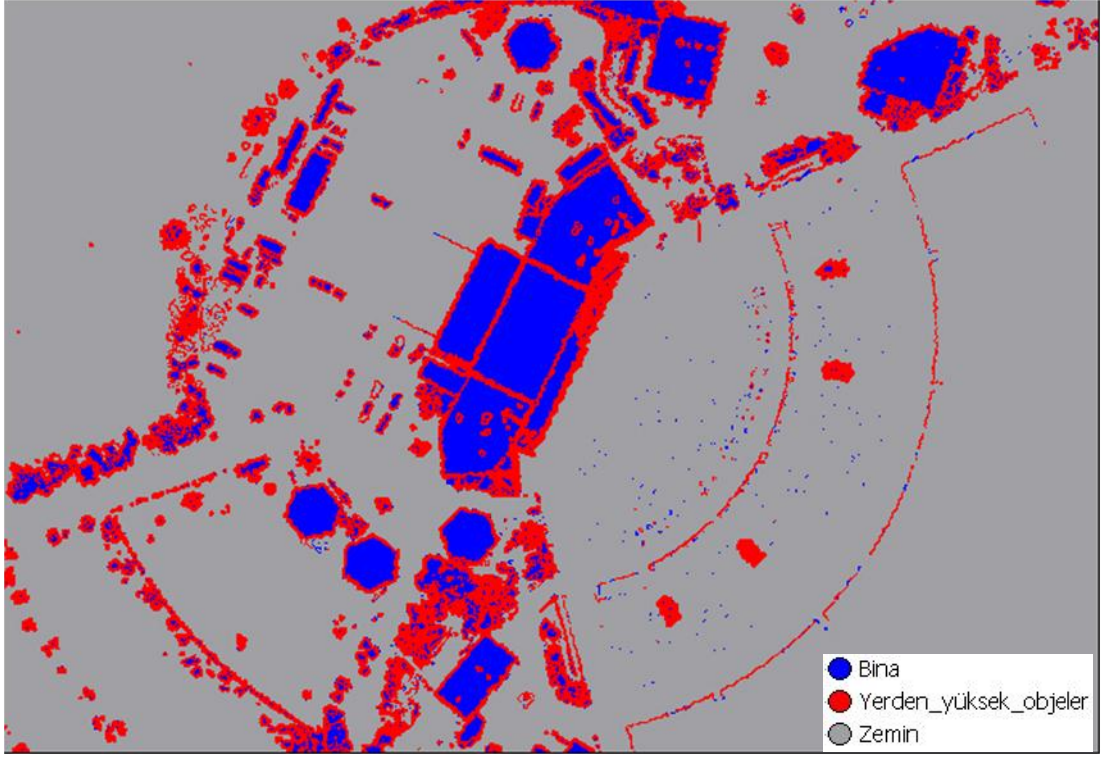
4.3.4 Yaklaşım 3: Sadece LiDAR Verileri (YM ve intensity) Kullanılarak Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Sadece LiDAR verileri kullanarak nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımında gerçekleştirilen iki adet analiz ve sınıflandırma sonucunda elde edilen Kappa değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. Bu analizler sonucu bina ve zemin sınıfları oluşturulmuştur. Sınıflandırma sonucunda yerden yüksek objeleri temsil eden ek sınıf oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 10 Sadece LiDAR verileri kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma

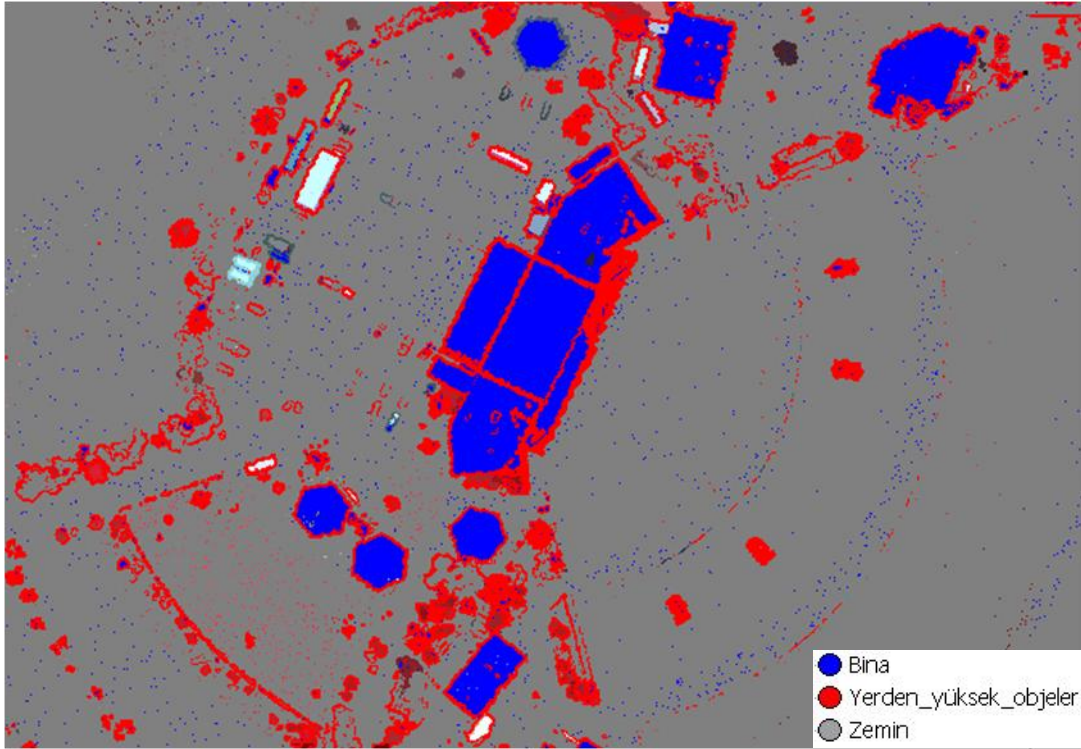
Analiz	Sınıf	Ek Veri	Segmentasyon	Sınıflandırma		Doğruluk
				Klasik sınıflandırma	Bulanık mantık	
1	Zemin	Eğim görüntüsü	Kontrast farkı	Eğim değeri ≥ 90	-	%43
	Bina	YM	-		-	
2	Zemin	Eğim görüntüsü	Kontrast farkı	Eğim değeri ≥ 90	-	%55
	Bina	YM + intensity	Çoklu çözünürlüklü		-	

Analiz 1’de zemin sınıfını oluşturmak için, LiDAR nokta bulutu ile Zevenbergen&Thorne yöntemi kullanılarak elde edilen Eğim görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntü ile kontrast farkı segmentasyonu uygulanmıştır. Sınıflandırma işleminde ise eğim değeri parametresi kullanılarak zemin sınıfı oluşturulmuştur. Bina sınıfının oluşumu ise sayısal yüzey modeli verisi yardımıyla oluşturulmuştur. Şekil 4. 37’de analiz 1 sonucu elde edilen sınıflandırma verilmiştir. Bu analizin sonucunda oluşan sınıflandırma incelendiğinde sadece sayısal görüntü kullanılarak oluşturulan sınıflandırmada karşımıza sorun olarak çıkan aynı yansıma değerine sahip zemin ve bina objeleri sorunu, LiDAR verisi kullanıldığında çözümlendiği görülmüştür. Tüm binaların bina sınıfı olarak yakalanmasına karşın, yeşil alan, ağaç, konteyner gibi objelerde bina sınıfının içinde yer alması sınıflandırma sonucunu olumsuz yönde etkilemiştir. Sınıflandırma sonucu ise %43 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 37 Yaklaşım 3 için analiz 1

Sadece LiDAR verileri (YM ve intensity) kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımında gerçekleştirilen ikinci analiz’de birinci analizden farklı olarak bina sınıfını iyileştirmek için çoklu çözünürlüklü segmentasyon ile intensity veri kullanılmıştır. Şekil.4.38’de görüldüğü gibi bina sınıfının konteyner, yeşil alana ait objeler ile karışımı bir önceki analize göre intensity verisinin kullanılması ile en aza indiği gözlenmiştir. Bu durum sınıflandırma sonucuna da olumlu yönde yansımış ve doğruluk değeri %55 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 38 Yaklaşım 3 için analiz 2

4.4 Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma

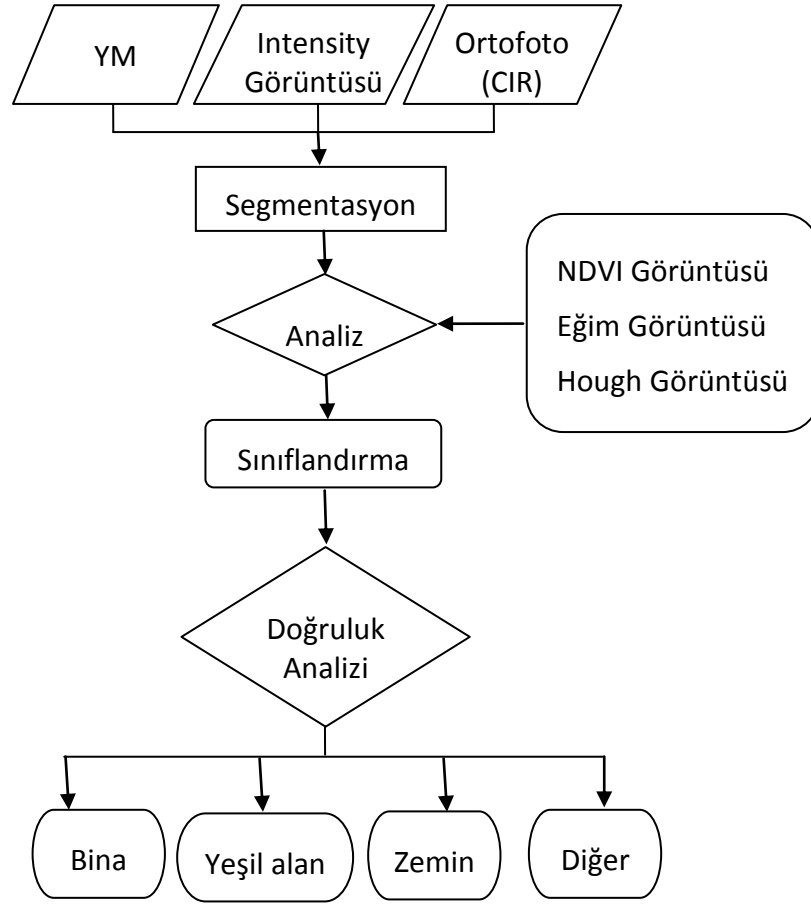
Nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi, objelerin birbirlerinden ayırımı ve detayların çıkarımı aşamasında kullanılmıştır. Kural tabanlı yaklaşımda belirlenen kurallar ile görüntü filtrelenerek objelere indirgenmektedir. Bu indirgenen obje sınıfları kullanıcının analizlerine dayanarak kurallara bağlanır. Önerilen yaklaşımda, hedef sınıfların üretimi ve sınıflar arasındaki karışıklıkların giderilmesi için segmentasyon, analiz ve sınıflandırma adımlarını içeren kurallar oluşturulmuştur. Bu kuralların geliştirilmesi bina çıkarımı sonuçlarını etkileyen önemli bir unsurdur. Ayrıca, otomatik bina çıkarımı için geliştirilen bu yaklaşımdan elde edilen verimin artırılması, bu kuralların birbirleriyle olan mantıksal uyumu ve analizler sonucu belirlenen parametre seçimleri ile mümkündür. Kuralların oluşturulması uzman kişiler tarafından gerçekleştirilir. Fakat herhangi bir kullanıcı farklı veri setleri ile ufak çaplı parametre değişikliği ile geliştirilen bu yaklaşımı kullanabilir. Bu yaklaşım e-Cognition Developer 8.64 programlama ara yüzü ortamında geliştirilmiştir. Bu program çoklu algılama sistemi ile elde edilen tüm verilerin aynı anda kullanılarak, analiz ve değerlendirme imkanı sunması sebebiyle tercih edilmiştir. Ayrıca, sayısal görüntülerin her bir bantında ayrı ayrı çalışma imkanı sağlanmıştır. Segmentasyon aşamasında farklı ağırlıklar

verilerek istenilen özelliğe göre segmentler oluşturulmuştur. Bu şekilde uzman tarafından gerçekleştirilen müdahaleler ile algoritma geliştirmede sunulan önemli bir avantaj sağlanmıştır. Birbirlerine çok yakın parametre değerlerine sahip objelerin ayırımında, analizler ile belirlenen üyelik değerlerini kullanarak sınıflandırma aşamasında bulanık mantık kullanılmıştır.

4.4.1 Çoklu Algılama Sistemi Veri Seti ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımının Çalışma Alanı (1) için Uygulanması

Çoklu algılama sistem verilerini kullanarak, nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile özgün bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çoklu algılama sistemi verileri aynı platforma yerleştirilen LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan bütünleşik sistem verileridir. Çalışma Alanı (1) için uygulanan nesneye dayalı kural tabanlı sınıflandırma yönteminin genel işlem adımları Şekil 4.39'da verilmiştir. Bu yöntem; segmentasyon, analiz ve sınıflandırma işlemlerini içermektedir. Bu araştırma kapsamında geliştirilen yaklaşım ile bina segmentlerinin yakalanması, analizi ve sınıflandırılması sonrasında bina sınıfının otomatik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Bu işlem adımları gerçekleştirilirken, bu tür araştırmalardaki en büyük problem olan sınıfların birbirine karışmasının önüne geçmek amacı ile bu işlemler bina sınıfı yanında diğer sınıflar için de ayrı ayrı uygulanmış ve sınıf karışıklığının minimum seviyede olması sağlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında otomatik bina çıkarımında geliştirilen yaklaşım ile ortofoto görüntü temel alınarak LiDAR nokta bulutundan üretilmiş sayısal yüzey modeli (YM) ve intensity verisi kullanılarak sınıfların karışıklıklarının giderilmesi amacıyla kural setleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, Bina, Yeşil alan, Zemin, Diğer isimli hedef sınıfları belirlenmiştir (Şekil 4.40). Bina çıkarımı için geliştirilen yaklaşım bina sınıfından farklı özelliklere sahip sınıfları ayrı sınıflar altında toplaması amaçlamaktadır. Bu aşamada, görüntüde bina sınıfı dışında tüm yakalanan objeleri içeren bina sınırı, yerden yüksek objeler, sınıflandırılmamış sınıf, diğer sınıf (gölge, konteyner, araba vb. objeleri içerir) gibi yardımcı sınıflar oluşturulmuştur. Bu sınıfların oluşturulmasında farklı kurallar geliştirilmiş ve bu şekilde bina sınıfının doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.



Şekil 4. 39 Otomatik bina çıkarımında genel iş adımları ve hedef sınıflar

Çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımında hedef sınıflar belirlendikten sonra geliştirilen her bir kuralda kullanılmak üzere yardımcı veriler oluşturulmuştur (Çizelge 4.12). Geliştirilen kural setleri için kullanılan ve oluşturulan sınıfların detayları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Bundan sonraki bölümde yardımcı verilerin üretimi ve geliştirilen yaklaşımla kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile hedef sınıfların belirlenmesine ilişkin ayrıntılı açıklamalar yer almaktadır.

Çizelge 4. 11 Çalışma Alanı (1) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı

Sınıf	Kural	Kullanılan veri	Sayısal görüntü işleme	Segmentasyon	Sınıflandırma	Oluşan sınıf
Yeşil alan	1	NDVI görüntüsü	-	Kontrast farkı	Eşik değeri: $0.35 \leq n \leq 0.75$	Yeşilalan_1, Sınıflandırılmamış_1
	2	Yeşilalan_1	Görüntü birleştirme	-	-	Yeşilalan_2
	3	Sınıflandırılmamış_1	Görüntü birleştirme	-	-	Sınıflandırılmamış_2
	4	Yeşilalan_2	Morfoloji (açma)	-	-	Yeşilalan_3
	5	Yeşilalan_3	Morfoloji (kapama)	-	-	Yeşilalan
Zemin	1	Eğim görüntüsü, YM, Sınıflandırılmamış_2	-	Kontrast farkı $120 \leq \text{eğim değeri} \leq 200$	Eğim değeri ≥ 90	Yerden yüksek objeler_1, Sınıflandırılmamış_3
	2	Sınıflandırılmamış_3, YM	-	-	YM < yükseklik quantile: 577.42	Zemin, Sınıflandırılmamış_4
Bina	1	Zemin, YM, Sınıflandırılmamış_4	Fark (YM-Zemin)	-	Fark ≥ 1	Bina_1, Sınıflandırılmamış_5
	2	Bina_1, ortofoto, Hough görüntüsü, intensity görüntü Yerden yüksek objeler_1	-	Çoklu çözünürlüklü ölçek: 25, şekil: 0.4, bütünlük: 0.6 Bant ağırlıkları: R=0.3, G=0.3, B=0.3, Hough=1	Eşik değeri: $0.35 \leq x \leq 0.75$	Bina_2, Yerden yüksek objeler_2
	3	Bina_2, Intensity görüntü		Kontrast farkı Eşik değeri: Ortalama intensity		Bina_3
	4	Bina_3	Alan	-	Alan ≤ 95	Bina_4
	5	Bina_4, Yerden yüksek objeler_2	İlişkisel sınıf (Related border to class)	-	Bina sınırı ilişkisi > 1	Bina_5, Bina sınırı_1
	6	Bina_5, Bina sınırı_1	Morfoloji (açma)	-	-	Bina_6, Bina sınırı_2
	7	Bina_6, Bina sınırı_2	Morfoloji (kapama)	-	-	Bina_7, Bina sınırı_3
	8	Bina_7, Bina sınırı_3, ortofoto	Ortalama mutlak hata	-	Ortalama mutlak hata ≤ 40	Bina_8, Bina sınırı_4, Sınıflandırılmamış_6
	9	Sınıflandırılmamış_6	Birleştirme			Diğer
	10	Bina_8, Bina sınırı_4	Birleştirme	-	-	Bina_9
	11	Bina_9	Vektör hale dönüştürme	-	-	Bina

4.4.1.1 Çalışma Alanı (1) için Üretilen Yardımcı Görüntüler

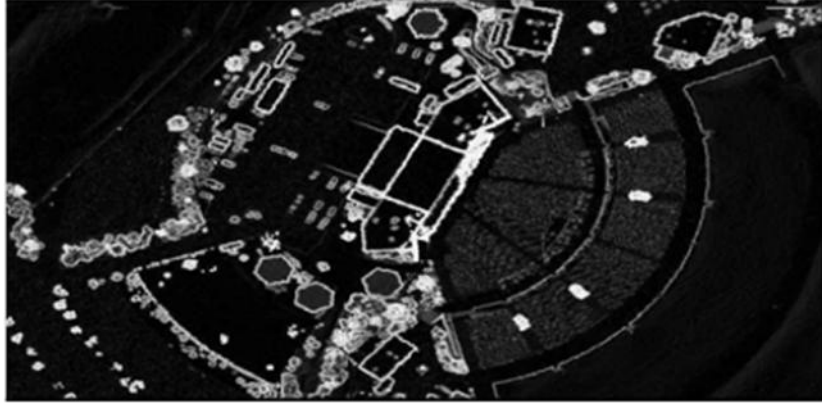
Çoklu algılama sisteminden elde edilen LiDAR nokta bulutu ve sayısal görüntü verileri ile sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla Eğim, NDVI ve Hough görüntüleri üretilmiştir (Çizelge 4.12). Çalışma Alanı (1)'e ait ortofoto ile Hough dönüşümü ve Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) MATLAB programlama dili kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca YM verisinden Eğim analiz yöntemi olan Zevenbergen ve Thorne (1987) kullanılarak Eğim görüntüsü üretilmiştir (Çizelge 4.12). Üretilen yardımcı görüntülerin MATLAB kodları çalışmanın Ek A kısmında verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Çalışma Alanı (1) için çoklu algılama sisteminden üretilen yardımcı veriler

Veri	Yöntem	Yardımcı Veri
YM	Eğim analizi	Eğim görüntüsü
Ortofoto	NDVI	NDVI görüntü
Ortofoto	Hough dönüşümü	Hough görüntüsü

Eğim analizi sonucunda üretilen görüntü

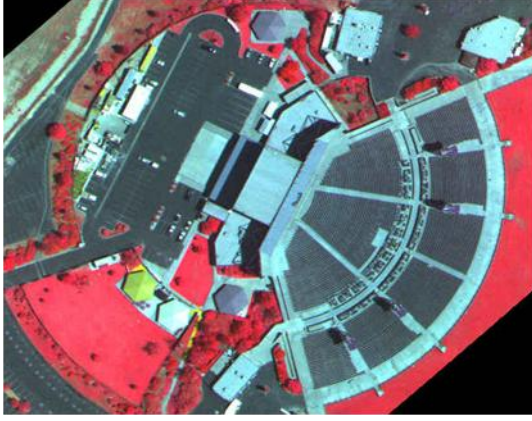
Görüntüdeki objelerin eğim farklarından yararlanarak sınırlarını belirlemek için sayısal yüzey modelindeki her piksel eğim değerini üretilerek Zevenbergen ve Thorne (1987) metodu ile Eğim görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 4. 40).



Şekil 4. 40 Çalışma Alanı (1) için üretilen Eğim görüntüsü

NDVI sonucunda üretilen görüntü

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi, yeşil alan ve bitki örtüsünün çıkarılması ile ilgili yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant farkının ve toplamının oranı şeklinde ifade edilen algoritma kullanılmıştır. Bitkiler, kızılötesi bantta yüksek, görünür kırmızı bantta düşük yansımaya değeri verir. Yeşil alan sınıfını oluşturulmasında kullanılan yapay renkli görüntü için en iyi sonucu veren NDVI yöntemi ile MATLAB programlama dili kullanılarak NDVI görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 4. 41).



(a)

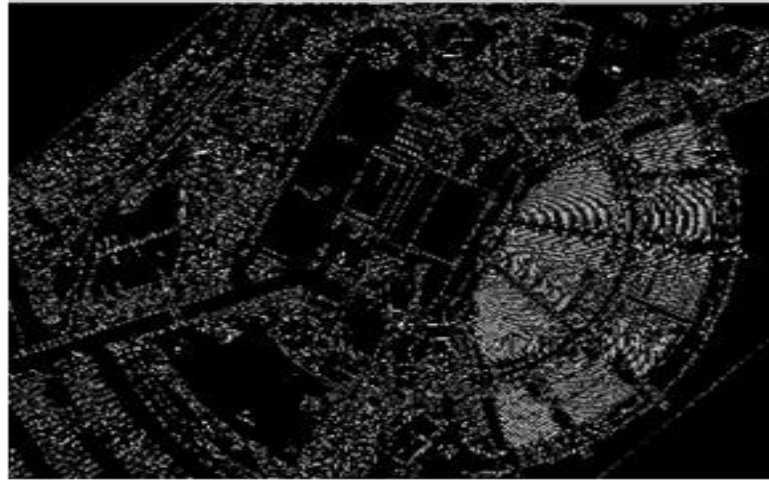


(b)

Şekil 4. 41 Çalışma Alanı (1) ortofoto (a) ve NDVI görüntüsü (b)

Hough dönüşümü sonucunda üretilen görüntü

Bina yakalama amaçlı geliştirilen yaklaşımda bina sınıfının iyileştirilmesi aşamasında kullanılması için Hough dönüşümü ile Hough görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 4.42).

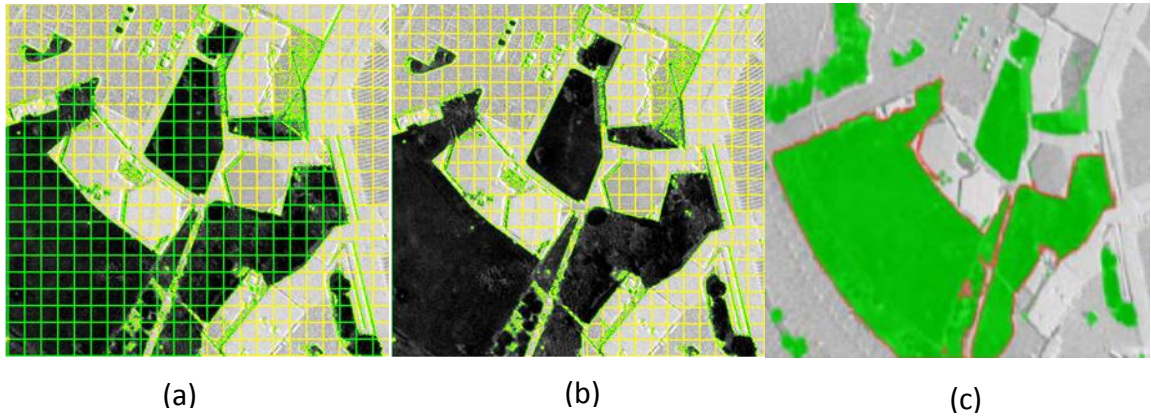


Şekil 4. 42 Hough dönüşümü sonucunda üretilen görüntü

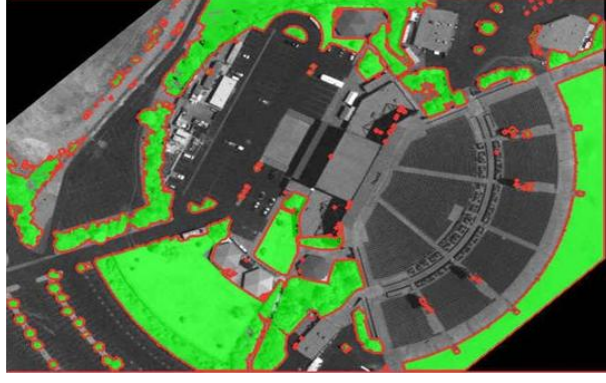
4.4.1.2 Yeşil Alan Sınıfının Oluşturulması

Çoklu algılama sistemi verileri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımında geliştirilen birinci kural yeşil alan sınıfının oluşturulmasına yöneliktir. Bu sınıfın oluşturulması için NDVI sonucunda üretilen görüntü kullanılarak kontrast ayırma segmentasyonu işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin temel prensibi, yeşil alana ait olan objelerin sınır değerine göre yakalanmasıdır. NDVI görüntüsünün histogram analizi ile yeşil alan sınıfını temsil eden objeler için eşik sınır (threshold) değer aralığı $0.35 \leq n \leq 0.75$

olarak tespit edilmiştir. Segmentasyon işlemi ile yakalanan yeşil alanı temsil eden objeler, sınıflandırma işleminde belirlenen eşik değeri parametresine göre sınıflandırılmıştır. Yeşil alan segmentlerinin sınıflandırılma aşamasında bulanık mantık metodu kullanılmıştır. Birinci kuralın sonunda ise Yeşil alan_1 ve sınıflandırılmamış objeleri temsil eden Sınıflandırılmamış_1 adlı sınıflar oluşturulmuştur (Çizelge 4.11). Yeşil alan_1 sınıfı sadece birinci kuralın sonucunda oluşan sınıf olarak ifade edilmiş ve bu sınıf iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen yaklaşımla öngörülen diğer kurallar uygulanmıştır. Her bir aşama sonucunda elde edilen sınıflar farklı objeleri ya da objelerin farklı özelliklerini temsil ettiği için farklı isimlendirilmiştir. Çizelge 4. 11’de ikinci kural ile birinci kural sonucu oluşan Yeşil alan_1 sınıfı kullanılarak görüntü birleştirme işlemi ile Yeşil alan_2 sınıfı oluşturulmuştur. Şekil 4.43a’da sarı renk ile temsil edilen segmentler sınıflandırılmamış objeleri, yeşil renk ile temsil edilen segmentler ise yeşil alanı göstermektedir. Görüntü birleştirme işlemi ayrıca Sınıflandırılmamış_1 sınıfında uygulanarak, Sınıflandırılmamış_3 sınıfı oluşturulmuş ve üçüncü kural olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.43b). Son olarak tanımlanan dördüncü ve beşinci kuralda ise morfolojik filtreler kullanılarak oluşturulan yeşil alan sınıfının iyileştirilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.43c). Morfolojik açma ve kapama operatörleri sonucunda, Yeşil alan sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 4.44).



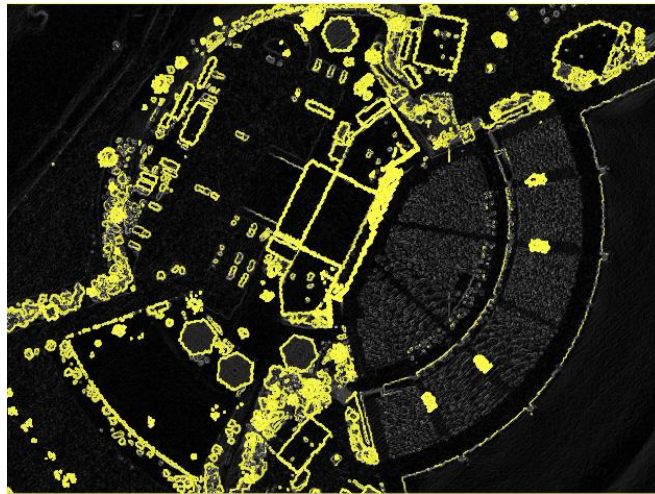
Şekil 4. 43 Çalışma Alanı (1) için yeşil alan sınıfı iyileştirme adımları



Şekil 4. 44 Çalışma Alanı (1) için oluşturulan yeşil alan sınıfı

4.4.1.3 Zemin Sınıfının Oluşturulması

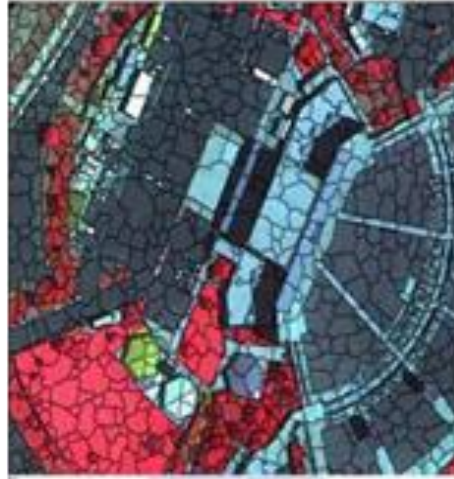
Önerilen yaklaşımın ikinci aşaması ise yer yüzeyi ile yer yüzeyi olmayan objelerin birbirinden ayrılması işlemidir. Bu aşamada yer yüzeyini temsil eden objeler Zemin sınıfı oluşturularak bu sınıf altında toplanmıştır. Zemin sınıfının oluşturulmasında ilk kural olarak Eğim görüntüsü, YM ve Sınıflandırılmamış_2 sınıfı kullanılmıştır. Bu kuralda kontrast farkı segmentasyonu için Çizelge 4. 11’de gösterilen eğim parametre değeri ($120 \leq \text{eğim} \leq 200$) ve sınıflandırma için $\text{Eğim} \geq 90$ parametresi kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.45). Bu sınıflandırma işlemi sonucunda yer yüzeyine ait olmayan ve yer yüzeyinden yüksekte olan objeleri temsil eden yeni bir sınıf oluşturulur. Bu sınıfı ise yerden yüksek objeler sınıfı olarak tanımlanmıştır (Çizelge.4.11). Tanımlanan ikinci kural ile yer yüzeyini temsil eden Zemin sınıfı, Sınıflandırılmamış_3 sınıfı ve YM kullanılarak gerçekleştirilen istatistiksel sıklık analizi sonucu oluşturulmuştur.



Şekil 4. 45 Çalışma Alanı (1) için kontrast ayırma segmentasyon sonucu

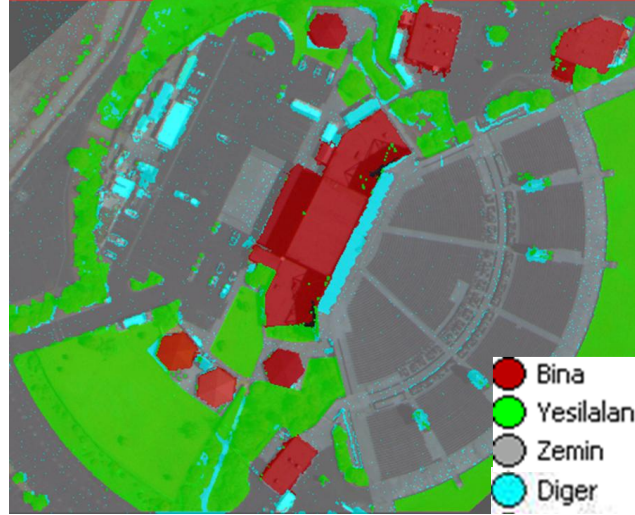
4.4.1.4 Bina Sınıfının Oluşturulması

Önerilen yaklaşımla bina sınıfının oluşturulmasının ilk adımı olarak literatürde nYM (YM-SYM) olarak bilinen normalize edilmiş sayısal yüzey modeli, Sayısal yüzey modeli ile Zemin sınıfı arasında fark işlemi uygulanarak elde edilmiştir. Elde edilen normalize edilmiş sayısal yüzey modeli verileri kullanılarak geliştirilen ilk kural ile gerçekleştirilen sınıflandırma işlemi sonucunda Bina_1 sınıfı oluşturulmuştur (Çizelge 4.11). Bundan sonraki aşama ise bina sınıfında yer alan ancak bina olmayan objelerin elimine edilmesi ve/veya bina sınıfının iyileştirilmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek yeni kurallar geliştirilmiştir. Kural 2’de Bina_1 ve Yerden yüksek objeler_1 sınıfları ile ortofoto ve Hough görüntüsü kullanılarak çoklu çözünürlüklü segmentasyon uygulanmıştır (Şekil 4.46). Bu segmentasyonda, ölçek parametresi=25, renk=0.4, şekil=0.6 parametreleri ve farklı ağırlıklara sahip görüntü katmanları (Ortofoto =0,3 ve Hough görüntüsü=1) kullanılmıştır. Bina sınıfını temsil eden çizgiler, Hough görüntüsü kullanılarak farklı ağırlık değeri ile gerçekleştirilen çoklu çözünürlüklü segmentasyon ile yakalanmıştır. Bu şekilde, renkli görüntüdeki segmentlere ek olarak Hough görüntüsü farklı ağırlık değerleri ile kullanılarak bina sınırlarındaki beklenmedik hatalar elimine edilmiş ve bina sınıfı iyileştirilmiştir. Hough görüntüsüne verilen ağırlık değeri ile bina sınırlarının ve çatı düzlemlerinin yakalanması sağlanmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda ise iyileştirilmiş Bina_2 ve Yerden yüksek objeler_2 sınıfları oluşturulmuştur.

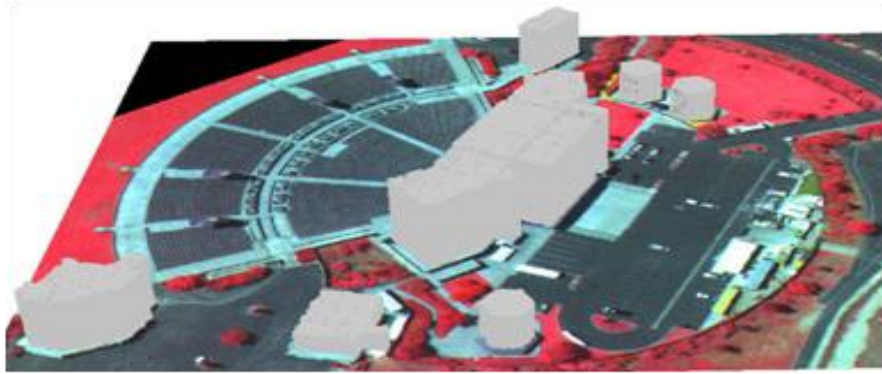


Şekil 4. 46 Çalışma Alanı (1) çoklu çözünürlüklü segmentasyon sonucu

Bina sınıfı içinde yer alan ve bina olmayan objelerin elemine edilmesi amacıyla Kural 3 tanımlanmıştır. Tanımlanan bu kural ile intensity (yoğunluk) görüntüsü kullanılarak kontrast ayırma segmentasyonu gerçekleştirilmiştir ve bu işlem sonucunda Bina_3 sınıfı oluşturulmuştur. Bir sonraki aşamada tanımlanan kural ile bina olarak sınıflandırılan ve gerçekte bina olmayan objeler, Bina_3 sınıfı ve alan parametresi kullanılarak elimine edilmiştir. Bu işlem sonucunda Bina_4 sınıfı oluşturulmuştur. Bina_4 ve Yerden yüksek objeler_2 sınıflarına ilişkisel sınıf özelliği (örneğin komşuluk) kullanılarak bina sınırları Bina sınırı_1 adlı yeni bir sınıf altında toplanmıştır (Çizelge 4.11, Bina sınıfı, Kural 5). Bina sınıfının iyileştirme işleminin son aşamasında, bina ve bina sınır sınıfları ile görüntü işleme teknikleri; morfolojik operatörler, birleştirme ve sınıf ilişkileri özellikleri kullanılarak, iyileştirilmiş bina sınıfı oluşturulmuştur (Çizelge 4.11 Kural 6, 7, 8, 9, 10). Bina_5 sınıfı ile Bina sınır_1 sınıfı kullanılarak morfolojik açma operatörü ile bina sınırları genişletilmiştir. Kural 7'de morfolojik kapama operatörü yardımıyla genişletilen sınırlar daha anlamlı hale getirilerek, Bina_7 ve Bina sınır_3 adı altında tanımlanmıştır. Bina ve bina sınırları arasında ortalama mutlak hata yöntemine göre eşik değeri dikkate alınarak piksel mesafede komşu olan değerler kullanılarak Bina sınıfı_8, Bina sınır_4 ve Sınıflandırılmamış_6 sınıfı oluşturulur (Çizelge 4.11, Bina sınıfı, Kural 5). Bina sınıfının son aşamalarında ise sınıflandırılmamış_6 sınıfı ve hedef sınıfların dışındaki tüm sınıflar Diğer isimli sınıf altında birleştirilir (Çizelge 4.11, Kural 9). Oluşturulan Diğer isimli sınıfta insan yapımı olan ve bina olmayan objeler yer almaktadır. Görüntüdeki taşınabilir konteyner ve ufak alana sahip güvenlik kulübeleri gibi objeler yakalanmış ve bu çalışmada bina sınıfına dahil edilmemiştir. Kural 10'da iyileştirilen bina ve bina sınırı sınıfları birleştirilmiş ve Bina_9 sınıfı oluşturulmuştur. Bina sınıfının iyileştirme aşaması tamamlandıktan sonra oluşturulan hedef sınıfları; Yeşil alan, Zemin, Diğer ve Bina sınıflardır (Şekil 4. 47). Çoklu algılama sistemi veri setleri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma sonucu otomatik çıkarılan bina sınıfı vektör hale dönüştürülmüştür. Çalışma Alanı (1) için önerilen yaklaşımla gerçekleştirilen kural tabanlı sınıflandırma işlemi sonucunda otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4. 47 Çalışma Alanı (1) için otomatik çıkarılan sınıflandırma sonucu



Şekil 4. 48 Çalışma Alanı (1) için otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü

4.4.2 Çalışma Alanı (1) için Otomatik Çıkarılan Bina Sınıfının Doğruluk Analizi

Önerilen yaklaşım sonucu gerçekleştirilen sınıflandırmanın doğruluğu iki farklı yöntem ile analiz edilmiştir. Otomatik olarak çıkarılan sınıfların doğruluk analizinde, sınıflandırma sonucu elde edilen veri ile referans veri karşılaştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölüm 2.3.1’de teori kısmı detaylı bir şekilde verilen örnek ve test alanı maskesine göre hata matrisi yöntemi kullanılarak üretici, kullanıcı, genel doğruluk ve Kappa analiz sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.13). Bu analizler sonucunda ise Çalışma Alanı (1) için hesaplanan genel doğruluk %94 ve Kappa %88 değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4. 13 Doğruluk analizi değerleri

Örnek ve Test Alanı Maskesine Göre Hata Matrisi Doğruluk Analizi Değerleri				
Kullanıcı\ Referans	Bina	Yeşil alan	Diğer objeler	Toplam
Bina	27096	0	185	27281
Yeşil alan	0	77569	36	77605
Diğer objeler	592	234	10007	10833
Toplam	27096	81063	13423	
Doğruluk %				
Üretici	97	95	75	
Kullanıcı	100	100	92	
KIA	72	97	88	
Genel doğruluk = 0.94				
Kappa= 0.88				

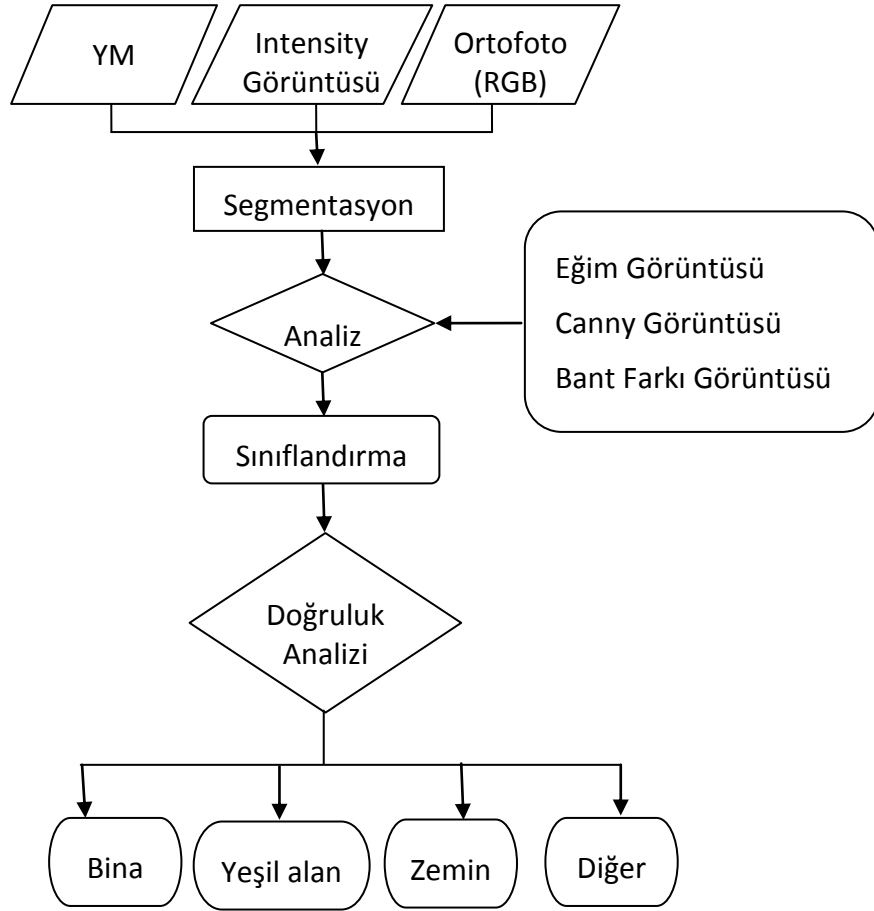
Bölüm 2.3.2’de detaylı bir şekilde verilen ve otomatik bina çıkarımında kullanılan bir diğer doğruluk analizi yaklaşımı doğruluk ve bütünlük analizleri uygulanmıştır. Şekil 4.49a’da referans veri ve Şekil 4.49b’de otomatik çıkarılan bina verisi gösterilmiştir. Önerilen yaklaşım sonucu otomatik olarak çıkarılan bina sınıfı için (2.26) ve (2.27) eşitliğine göre bütünlük %96.73 ve doğruluk %95.02 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 49 Çalışma Alanı (1) için referans veri (a), otomatik çıkarılan bina verisi (b)

4.4.3 Çoklu Algılama Sistemi Veri Seti ile Nesneye Yönelik Kural Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımının Çalışma Alanı (2) için Uygulanması

Bu bölümde geliştirilen yaklaşımla nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak otomatik bina çıkarımı Çalışma Alanı (2) için test edilmiştir. Çalışma Alanı (2) için elde edilen veri seti ve Çalışma Alanının özellikleri (ağaç, bitki örtüsü, eğim vb.) ilişkin özellikler göz önünde bulundurularak özellikle bina iyileştirilmesi aşamasında yeni kurallar eklenmiş mevcut kurallarda ufak çaplı düzeltmeler yapılarak otomatik bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Yeni eklenen kurallar çoklu algılama sistemi ile elde edilen verilerin birebir aynı olmaması sebebiyle eklenmiştir ve ilk Çalışma Alanı için önerilen yaklaşımda uygulanan temel prensipleri değiştirmemektedir. Çalışma Alanı (2)'nin diğer bir özelliği de verilerin "NABUCCO Doğal Gaz Boru Hattı Projesi" çerçevesinde elde edilen Sivas il sınırları içerisinde yer alan bir bölgeye yani ülkemize ait olmasıdır. Bu şekilde önerilen yaklaşımla geliştirilen kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımının ülkemize ait veriler kullanılarak uygulanabilirliği de test edilmiştir. Çalışma Alanı (2)'de çoklu algılama sistemi ile renkli sayısal görüntüler (RGB) mevcut olup Çalışma Alanı (1)'de mevcut olan yapay renkli sayısal görüntü (CIR) bulunmamaktadır (Çizelge 4.1, 4.2). Bu durumda yeşil alan sınıfının çıkarımında kullanılan NDVI yönteminin kullanılması mümkün olmamış yerine bant farkları oluşturularak alternatif çözüm getirilmiştir. Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma gerçekleştirilen otomatik bina çıkarımı genel iş adımları Şekil 4.50'de verilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşım ile Çalışma Alanı 1'de olduğu gibi bina sınıfının yanı sıra bina sınırı, yeşil alan, zemin, çalışma alanı ve diğer sınıf (samanlık, kulübe gibi hedef sınıfların dışında kalan objeleri içeren sınıf) gibi yardımcı sınıflarda oluşturulmuştur. Önerilen yaklaşımda kullanılan yöntem ve kuralların detayları Çizelge 4.14'de verilmiştir. Bundan sonraki bölümde Çalışma Alanı (2) için yardımcı verilerin üretimi ve geliştirilen yaklaşımla kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile hedef sınıfların belirlenmesine ilişkin ayrıntılı açıklamalar yer almaktadır.



Şekil 4. 50 Çalışma Alanı (2) otomatik bina çıkarımında genel iş adımları ve hedef sınıflar

Çizelge 4. 14 Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı

Sınıf	Kural	Kullanılan veri	Sayısal görüntü işleme	Segmentasyon	Sınıflandırma	Oluşan sınıf
Yeşil alan	1	Bant farkı görüntüsü, ortofoto	-	Kontrast farkı Bant farkı görüntüsü $-0.10 \leq n \leq 0.20$	ortofoto yeşil bant eşik değeri: $57 \leq G \leq 146$	Yeşilalan_1, Sınıflandırılmamış_1
	2	Yeşilalan_1	Görüntü birleştirme	-	-	Yeşilalan_2
	3	Sınıflandırılmamış_1	Görüntü birleştirme	-	-	Sınıflandırılmamış_2
	4	Yeşilalan_2	Morfoloji (açma)	-	-	Yeşilalan_3
	5	Yeşilalan_3	Morfoloji (kapama)	-	-	Yeşilalan_4
Zemin	1	Eğim görüntüsü, YM, Sınıflandırılmamış_2	-	Kontrast farkı $120 \leq \text{eğim değeri} \leq 185$	Eğim değeri ≥ 120	Yerden yüksek objeler_1, Sınıflandırılmamış_3
	2	Sınıflandırılmamış_3, YM	-	-	YM < yükseklik quantile:1593.93	Zemin, Sınıflandırılmamış_4
Bina	1	Zemin, YM, Sınıflandırılmamış_4	Fark (YM-Zemin)	-	Fark ≥ 1	Bina_1, Sınıflandırılmamış_5
	2	Bina_1, intensity görüntü		Kontrast farkı Eşik değeri: Ortalama intensity ($i \leq 55$)	intensity ($i \leq 55$)	Bina_2
	3	Bina_2, Sınıflandırılmamış_5	Alan		Alan ≤ 8	Bina_3, Sınıflandırılmamış_6
	4	Bina_3	Bölge genişletme	-	-	Bina_4
	5	Bina_4, ortofoto, Canny görüntüsü Yerden yüksek objeler_1,	-	Çoklu çözünürlüklü ölçek:25, şekil:0.4, bütünlük:0.5, Bant ağırlıkları: R=1, G=1, B=1, Canny=5	Aritmetik bant ortalama değeri: $450 \leq x \leq 780$	Bina_5, Yerden yüksek objeler_2
	6	Bina_5, Yerden yüksek objeler_2	İlişkisel sınıf	-	Bina sınırı ilişkisi > 1	Bina_6, Bina sınır_1
	7	Bina_6, Bina sınır_1	Yumuşatma	-	-	Bina_7, Bina sınır_2
	8	Bina_7, Bina sınır_2	Basitleştirme	-	-	Bina_8, Bina sınır_3
	9	Bina_8, Bina sınır_3, sayısal görüntü, Sınıflandırılmamış_6	Ortalama mutlak hata	-	Ortalama mutlak hata ≤ 40	Bina_9, Bina sınır_4, Sınıflandırılmamış_7
	10	Bina_9, Bina sınır_4, intensity görüntü, Bant farkı görüntüsü Sınıflandırılmamış_7		Çoklu çözünürlüklü ölçek:25, şekil:0.4, bütünlük:0.6 Bant ağırlıkları: R=1, G=1, B=1, intensity=5	Bant farkı görüntüsü eşik değeri: $0.11 \leq n \leq 0.28$	Gölge, Bina_10, Bina sınır_5, Sınıflandırılmamış_8
	11	Sınıflandırılmamış_8, Gölge, Yeşilalan_4, Zemin	Birleştirme	-	-	Diğer
	12	Bina_10, Bina sınır_5	Birleştirme	-	-	Bina_11
	13	Bina_11	Vektör hale dönüştürme	-	-	Bina

4.4.3.1 Çalışma Alanı (2) için Üretilen Yardımcı Görüntüler

Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımında sınıflandırma doğruluğunu arttırmak ve sınıf karışıklıklarını en az indirmek için Eğim, Canny ve bant farkı görüntüsü gibi yardımcı veriler oluşturulmuştur. Çalışma Alanı (2)' ye ait otomatik bina sınıfının çıkarımında kullanılan yardımcı görüntülerin detayları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

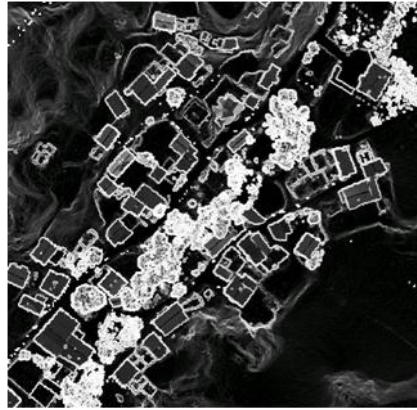
Üretilen bu yardımcı görüntüler segmentasyon ve sınıflandırma aşamalarında kural setine dahil edilmiş ve sınıfların iyileştirilmesi ve bina sınıfının doğruluğunun artırılması amaçlı kullanılmıştır.

Çizelge 4. 15. Çalışma Alanı (2) için çoklu algılama sisteminden üretilen yardımcı veriler

Veri	Yöntem	Yardımcı Veri
YM	Eğim analizi	Eğim görüntüsü
Ortofoto	Bant farkı	Bant farkı görüntüsü
Ortofoto	Canny algoritması	Canny görüntüsü

Eğim analizi sonucunda üretilen görüntü

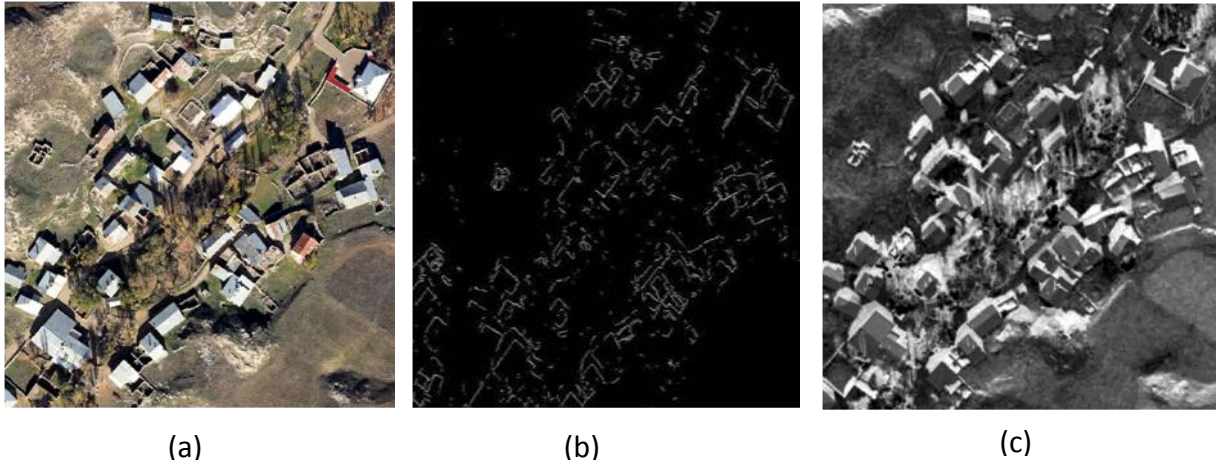
Geliştirilen kural setinde kullanılmak üzere sayısal yüzey modeli ile Zevenbergen ve Thorne (1987) metodu kullanılarak Şekil 4.51’de gösterilen Eğim görüntüsü üretilmiştir.



Şekil 4. 51 Çalışma Alanı (2) için üretilen Eğim görüntüsü

Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen görüntü

Çalışma Alanı (2) için, Çalışma Alanı (1)’de kullanılan Hough dönüşümü yerine Canny kenar yakalama yöntemi kullanılmıştır. Hough dönüşümü, doğruların yakalanması amaçlı bir yöntem olduğunu için kullanılan görüntülerde, çıkarılmak istenen hedef objelerin doğrusallığı arttıkça objelerin doğru yakalanmaları da buna paralel olarak artmaktadır. Bu doğrusallık koşulu, Çalışma Alanı (1)’deki düzgün doğrusal yapıdaki objelerin yakalanmasında başarı sağlamıştır. Fakat bu durum Çalışma Alanı (2)’de için geçerli değildir. Bu çalışma alanına ait mevcut görüntü incelendiğinde, dağınık ve düzgün yapıda olmayan objelerin yakalanması için alternatif bir yöntem olan Canny kenar yakalama algoritması kullanılmış ve Canny görüntüsü üretilmiştir (Şekil 4.52a). Ayrıca, bu görüntü segmentasyon aşamasında farklı ağırlık değeri verilerek bina kenarlarının yakalanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4. 52 Çalışma Alanı (2)'ye ait ortofo (a), Canny (b) ve bant farkı görüntüsü (c)

Bant farkı uygulanması sonucunda üretilen görüntü

Çalışma Alanı (1)'de ortofo (CIR) kızılötesi banta sahip olduğu için NDVI yöntemi kullanılmıştır. Çalışma Alanı (2)'de ise ortofo (RGB) verisi kullanıldığı için NDVI yöntemi yerine bant farkı yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak bant farkı görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil.4.52c).

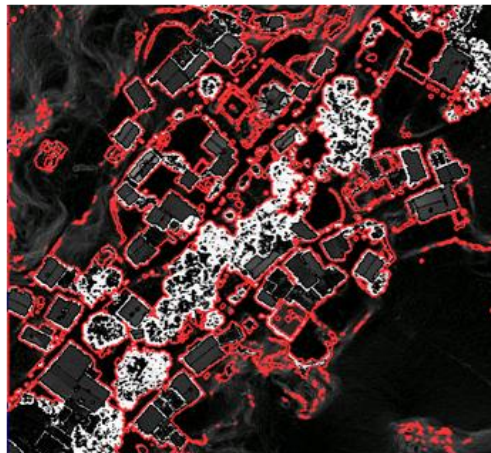
4.4.3.2 Yeşil Alan Sınıfının Oluşturulması

Çoklu algılama sistemi verileri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımında Çalışma Alanı (2) için geliştirilen birinci kural yeşil alan sınıfının oluşturulmasıdır. Bu sınıfın oluşturulması için Bant farkı uygulanması sonucunda üretilen görüntü kullanılarak kontrast ayırma segmentasyonu işlemi uygulanmıştır. Bant farkı görüntüsünün histogram analizi ile yeşil alan sınıfını temsil eden objeler için eşik (threshold) değer aralığı $(-0.10 \leq n \leq 0.20)$ olarak tespit edilmiştir. Segmentasyon işlemi ile yakalanan yeşil alanı temsil eden objeler, sınıflandırma işleminde belirlenen ortofo görüntünün yeşil bant eşik değer parametresine $(57 \leq n \leq 146)$ göre sınıflandırılmıştır. Yeşil alan segmentlerinin sınıflandırılma aşamasında bulanık mantık metodu kullanılmıştır. Birinci kuralın sonunda ise Yeşil alan_1 ve sınıflandırılmamış objeleri temsil eden Sınıflandırılmamış _1 adlı sınıflar oluşturulmuştur (Çizelge 4.14, Kural 1). Yeşil alan_1 sınıfı sadece birinci kuralın sonucunda oluşan sınıf olarak ifade edilmiş ve bu sınıf iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen yaklaşımla öngörülen diğer kurallar uygulanmıştır. Her bir aşama sonucunda elde edilen sınıflar farklı objeleri ya da objelerin farklı özelliklerini temsil ettiği için farklı isimlendirilmiştir. Çizelge 4. 14'de

ikinci kural ile birinci kural sonucu oluşan Yeşil alan_1 sınıfı kullanılarak görüntü birleştirme işlemi ile Yeşil alan_2 sınıfı oluşturulmuştur. Görüntü birleştirme işlemi ayrıca Sınıflandırılmamış_1 sınıfında uygulanarak, Sınıflandırılmamış_3 sınıfı oluşturulmuş ve üçüncü kural olarak tanımlanmıştır. Son olarak tanımlanan dördüncü ve beşinci kuralda ise morfolojik filtreler kullanılarak oluşturulan yeşil alan sınıfının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Morfolojik açma ve kapama operatörleri sonucunda, Yeşil alan_4 sınıfı oluşturulmuştur. Çizelge 4.14’de yeşil alan sınıfının oluşturulmasının işlem adımları verilmiştir.

4.4.3.3 Zemin Sınıfının Oluşturulması

Önerilen yaklaşımın ikinci aşaması ise yer yüzeyi ile yer yüzeyi olmayan objelerin birbirinden ayrılması işlemidir. Bu aşamada yer yüzeyini temsil eden objeler Zemin sınıfı oluşturularak bu sınıf altında toplanmıştır. Zemin sınıfının oluşturulmasında ilk kural olarak Eğim görüntüsü, YM ve Sınıflandırılmamış_2 sınıfı kullanılmıştır. Bu kuralda kontrast farkı segmentasyonu için Çizelge 4. 14’de gösterilen eğim parametre değeri ($120 \leq \text{eğim} \leq 185$) ve sınıflandırma için $\text{Eğim} \geq 120$ parametresi kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.53). Bu sınıflandırma işlemi sonucunda yer yüzeyine ait olmayan ve yer yüzeyinden yüksekte olan objeleri temsil eden yeni bir sınıf oluşturulur. Bu sınıfı ise yerden yüksek objeler sınıfı olarak tanımlanmıştır (Çizelge.4.14). Tanımlanan ikinci kural ile yer yüzeyini temsil eden Zemin sınıfı, Sınıflandırılmamış_3 sınıfı ve YM kullanılarak gerçekleştirilen istatistiksel sıklık analizi sonucu oluşturulmuştur.



Şekil 4. 53 Çalışma Alanı (2) için oluşturulan kontrast farkı segmentasyon sonucu

4.4.3.4 Bina Sınıfının Oluşturulması

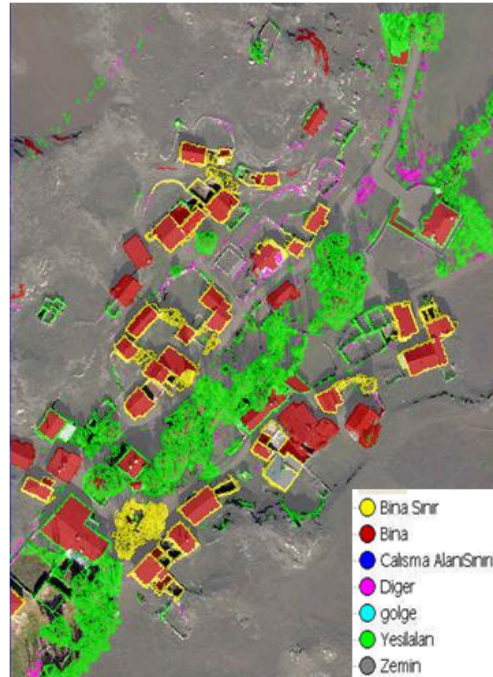
Önerilen yaklaşımla bina sınıfının oluşturulmasının ilk kural sayısal yüzey modeli ile zemin sınıfı farkı alınarak Bina_1 sınıfı oluşturulmuştur (Çizelge 4.14). Bu aşamadan sonraki işlem adımlarında oluşturulan bina sınıfının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için Kural 2 geliştirilmiştir. Kural 2’de intensity görüntü ve Bina_1 sınıfı kullanılarak kontrast farkı segmentasyonu ile farklı yoğunluk parametresi özelliği dikkate alınarak, bina olmadığı halde bina sınıfı içinde yer alan objeler bu adımda yakalanarak, elemine edilmiştir. Bir sonraki bina sınıfı iyileştirme adımı ise Kural 3’de alan parametresi ve Kural 4’de bölge genişletme işlemlerinin uygulanmasıdır. Bu işlem adımları sonucunda Bina_4 sınıfı oluşturulmuştur. Kural 5’de Bina_5 ve Yerden yüksek objeler_1 sınıfları ile ortofoto ve Canny görüntüsü kullanılarak çoklu çözünürlüklü segmentasyon uygulanmıştır (Şekil 4.54). Bu segmentasyonda, ölçek parametresi=25, renk=0.4, şekil=0.5 parametreleri ve farklı ağırlıklara sahip görüntü katmanları (Ortofoto=1 ve Canny görüntüsü=5) kullanılmıştır. Canny algoritmasının uygulanması sonucunda üretilen görüntü bina sınıfı çıkarımında karışan objelerin ayırt edilmesi aşamasında segmentasyona dahil edilmiştir. Bu şekilde, renkli görüntüdeki segmentlere ek olarak bu görüntü farklı ağırlık değeri ile kullanılarak bina sınırlarındaki beklenmedik hatalar elimine edilmiştir. Sınıflandırma işleminde ise aritmetik ortalama değer parametresi ($450 \leq \text{ortalama_bant} \leq 780$) kullanılarak iyileştirilmiş Bina_3 ve Yerden yüksek objeler_2 sınıfları oluşturulmuştur (Çizelge 4.14).



Şekil 4. 54 Çalışma Alanı (2) için oluşturulan çoklu çözünürlüklü segmentasyon sonucu Bina iyileştirilmesi aşamasında, oluşturulan bina sınıfı kullanılarak Bina_4 ve Yerden yüksek objeler_2 sınıflarına ilişkisel sınıf özelliği kullanılarak bina sınırları Bina sınırı_1

adlı yeni bir sınıf altında toplanmıştır (Çizelge 4.14, Bina sınıfı, Kural 6). Bina sınıfının iyileştirme işleminin son aşamasında, yumuşatma, basitleştirme, ortalama mutlak hata gibi işlem adımları uygulanmıştır (Çizelge 4.14 Kural 7, 8, 9). Bu uygulamalar sonucunda iyileştirilmiş Bina_9 sınıfı oluşturulmuştur. Kural 10'da Bina_9, Bina sınır_4, intensity görüntüsü, Bant farkı görüntüsü, Sınıflandırılmamış_7 verileri yardımıyla mevcut görüntüdeki karışan gölgeleri ayrı bir sınıf altında toplanmıştır. Gölge sınıfının oluşturulmasında ise çoklu çözünürlüklü segmentasyon işlemi intensity verisi farklı ağırlık verilerek dahil edilerek gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.14 Kural 10). Bu segmentasyon işlemi sonunda, bulanık mantık sınıflandırma yöntemi kullanılarak Bant farkı görüntüsü eşik değer parametresi ($0.11 \leq n \leq 0.28$) ile gölge sınıfı oluşturulur. Böylece, diğer sınıflar ile karışan gölgeler problemi Kural 10 ile giderilmiştir. Yaklaşımın bir sonraki adımında, Bina_10 ve Bina sınır_5 sınıfları dışındaki oluşturulan tüm yardımcı sınıflar (gölge, yeşil alan, zemin vb.) birleştirilmiştir (Çizelge 4.14 Kural 11).

Çoklu algılama sistemi verileri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma sonucunda otomatik bina çıkarımı için bina, yeşil alan, zemin, bina sınırı sınıfı, çalışma alanı sınıfı, diğer ve gölge sınıfları oluşturulma aşamasında örnek görüntü Şekil 4.55'de verilmiştir.

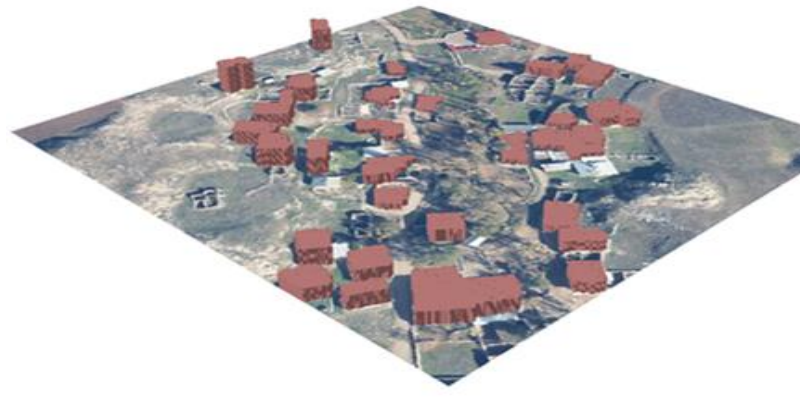


Şekil 4. 55 Çalışma Alanı (2) için geliştirilen yaklaşım aşamasında oluşan sınıflar

Şekil 4.55’de oluşturulan sınıflar incelendiğinde bina iyileştirilmesi aşamasında gerçekleştirilen işlem adımları otomatik bina çıkarımı amaçlı gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple önerilen yaklaşımda oluşturulan diğer sınıflar herhangi bir iyileştirmeye tabi tutulmamıştır. Bu sebeple bina sınıfı dışındaki sınıflar tek bir sınıf altında toplanmıştır. Bina sınıfı dışındaki sınıfların birleştirme işlemi sonucunda bina sınıfına ait sınıflandırılmış görüntü Şekil 4.56’da gösterilmiştir. Çoklu algılama sistemi veri setleri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma sonucu otomatik çıkarılan Bina_10 sınıfı vektör hale dönüştürülmüş ve Bina sınıfı oluşturulmuştur. Çalışma Alanı (2) için önerilen yaklaşımla gerçekleştirilen kural tabanlı sınıflandırma işlemi sonucu otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü Şekil.4.57’de verilmiştir.



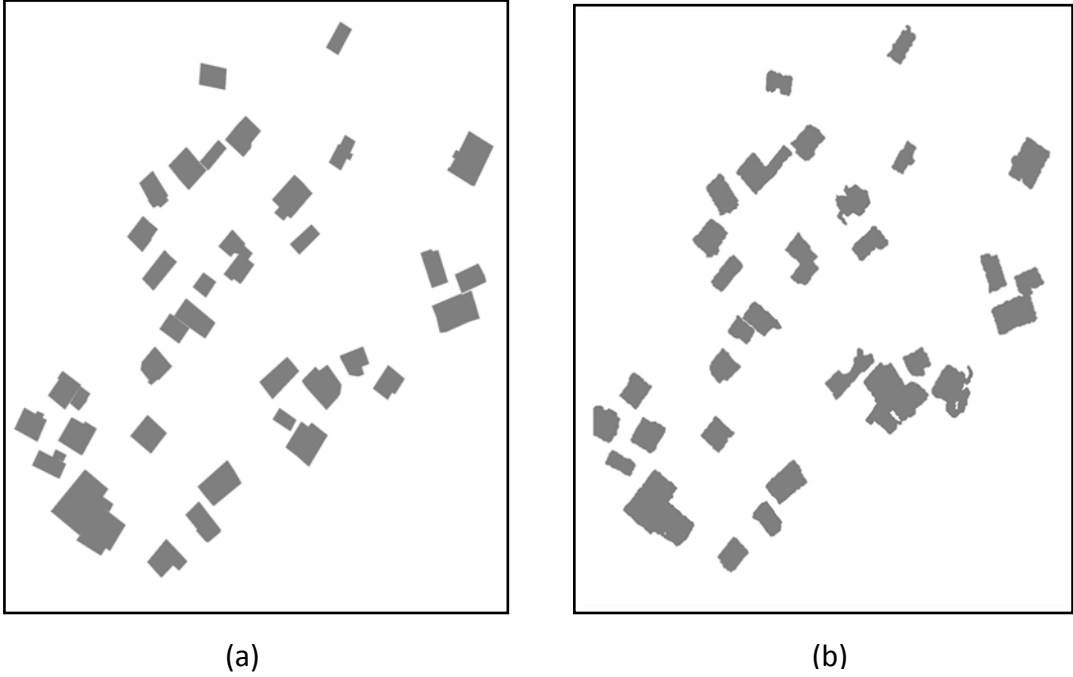
Şekil 4. 56 Çalışma Alanı (2) için otomatik çıkarılan bina sınıfı



Şekil 4. 57 Çalışma Alanı (2) için otomatik çıkarılan binaların 3B görünümü

4.4.4 Çalışma Alanı (2) için Otomatik Çıkarılan Bina Sınıfının Doğruluk Analizi

Otomatik olarak çıkarılan bina sınıfının doğruluk analizinde referans veri ile sınıflandırma sonucu otomatik çıkarılan bina sınıfının karşılaştırılması işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.58a'da referans veri ve Şekil 4.58b'de ise otomatik çıkarılan veri gösterilmiştir. Önerilen yaklaşım sonucunda otomatik çıkarılan bina sınıfı için doğruluk analizi (2.26) ve (2.27) eşitliklerine göre bütünlük %80 ve doğruluk %85 değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. 58 Referans veri (a) ve otomatik çıkarılan bina verisi (b)

4.4.5 Otomatik Obje Çıkarımında Önerilen Yaklaşım ile Mevcut Sorunların Çözümü

Otomatik obje çıkarımında karşılaşılan önemli sorunlardan birisi sınıfların birbirleri ile karışmasıdır. Bu sınıf karışıklıkları objelerin doğruluklarını olumsuz yönde etkilediği gibi, yanlış bilgi ile yapılan projelerde dönüşü olmayan zararlar doğurabilir. Özellikle, kent yönetiminde geleceğe yönelik verilecek yanlış bir karar maddi ve manevi zararlar ile karşı karşıya kalınabilen durumlar yaratabilmektedir. Bu durum afet ve kriz yönetiminde ise daha büyük sorumluluk ve hayati önem taşımaktadır. Ülkemizde yaşanan Van depreminde, çatısı direkt katlanarak çöken okul bina örneği ile durumun ciddiyetini belirtmek için yeterlidir (Şekil 4. 59a). Özellikle deprem sonrası elde edilen hava fotoğraflarında binalardaki farklı yıkılma etkenlerinden dolayı, yıkılan binaların tespit edilmesi oldukça zordur.

Binalarda görülen sınıf karışıklıkları hava fotoğraflarında bina olarak görülen objelerin aslında bina sınıfını temsil etmemesi sorunudur. Bu sorun, sadece sayısal görüntüler kullanıldığında, geçici kurulan çadır (Şekil 4.59b) ve pazar yerlerinde (Şekil 4.59c) sıkça ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, limanlarda ve inşaat alanlarında kullanılan konteyner vb. objelerde sınıf karışıklıklarına neden olmaktadır (Şekil 4.59d). Çoklu algılama sistemi verilerinden LiDAR nokta bulutu verisi (X,Y,Z) ve intensity veri ile bu sorunların giderilmesi mümkündür.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. 59 Van 2011 depremi sonucu yıkılan okul binası (a), konteyner (b), geçici kurulan çadırlar(c) ve pazaryerleri (d)

Önerilen yaklaşımda otomatik obje çıkarımında Çalışma alanlarında karşılaşılan mevcut sorunlar ve çözümleri 5 ana başlık altında incelenmiş ve detaylı bir şekilde verilmiştir.

1. Bina olan objelerin eksik ya da hiç çıkarılamama durumu
2. Bina ile yeşil alan sınıfı karışıklıklarının giderilmesi
3. Bina ile zemin sınıfı karışıklığının giderilmesi
4. Bina ile bina görünümlü objelerin karışıklığının giderilmesi
5. Gölge problemi

4.4.5.1 Bina Olan Objelerin Eksik ya da Hiç Çıkarılamama Durumu

Otomatik bina çıkarımı sonuçlarının kabul edilir olması için bölüm 2.3’de verilen literatürde kabul görmüş doğruluk ve bütünlük analizlerini sağlaması gereklidir. Bu aşamada, eksik çıkarılan binalar bu analiz değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, bina olan objelerin eksik ya da hiç çıkarılamama durumu sıklıkla karşılaşılan ve önemli problemlerden biridir. Şekil 4.60a’da Çalışma Alanı (2)’e ait olan ve eksik olarak çıkarılan bina örneği verilmiştir. Şekil 4.60(b)’de segmentasyon ve sınıflandırma işlemi ile eksik olan bina objeleri yakalanmıştır. Önerilen yaklaşımda, Çizelge 4.14’de verilen sayısal görüntü teknikleri ile bina iyileştirme adımlarından; bölge genişletme, basitleştirme ve morfolojik operatörler yardımıyla örnek binaya ait eksik bina alanları problemi iyileştirilmiştir (Şekil 4.60c). Ayrıca, bina sınırları genişletilerek daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.60d). Şekil 4.60e’de ise eksik çıkartılan bina (Şekil 4.60a) örneğinin iyileştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 4. 60 Çalışma Alanı eksik yakalanan binanın iyileştirilme adımları

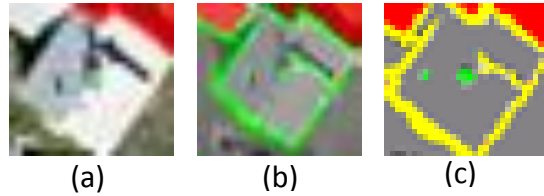
Çoklu algılama sistemi veri setleri ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma sonucu otomatik çıkarılan bina yaklaşımında, bina sınırlarının iyileştirme işlemi sonucu Çalışma Alanı (2)’ye ait binalar için önceki ve sonraki durumların gösterimi için örnek bir görüntü Şekil 4.61a ve Şekil 4.61b’de verilmiştir.



Şekil 4. 61 Çalışma Alanı bina sınır değerinin iyileştirilmesi: önceki durum (a) ve sonraki durum görüntüsü (b)

Önerilen yaklaşım ile eksik çıkarılan bina sorunlarına çözüm üretilirken, bir binanın hiç çıkarılamama durumu ile de karşılaşılmıştır. Bu soruna örnek bir gösterim ise

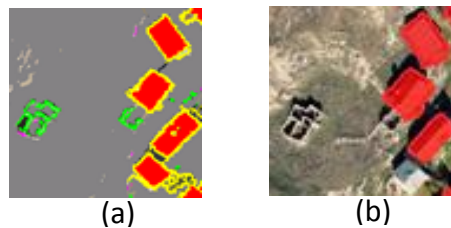
Şekil.4.62a’da verilmiştir. Çalışma Alanı (2)’nin eğimli bir arazi olması ve yükseklik farkından doğan nedenlerden dolayı bir adet çıkarılamamış bina mevcuttur. Bu bina sınıflandırma sonucunda doğruluk hata payı içinde kalmıştır. Eğim kaynaklı doğan bu sorunun çözümü ise bölüm 2.4.1 ve 2.51’de verilen çoklu algılama sistemi bileşeni olan LiDAR ve çalışma prensibi kısmında verisine ait ilk ve son yansıma (pulse) değerlerini içeren çoklu yansımaların beraber toplanması ve önerilen yaklaşımda kullanılması halinde bu sorunun giderilmesi mümkündür. Şekil 4.62b’de çıkarılamayan binanın segment olarak yakalanması görülmektedir. Çizelge 4.14’de önerilen yaklaşımın Zemin sınıfının çıkarılması aşamasında Şekil 4.62’de gösterilen örnek binanın eğim parametresi, zemin sınıfını oluşturan objelerin parametre değerleri arasında kaldığı için bu bina zemin sınıfına dahil edilmiştir (Şekil 4.62c).



Şekil 4. 62 Çıkarılamayan bina örneği: bina sınıfında çıkarılamayan bina (a), bina sınırlarının yakalanması (b) ve zemin sınıfına dahil olan bina görüntüsü (c)

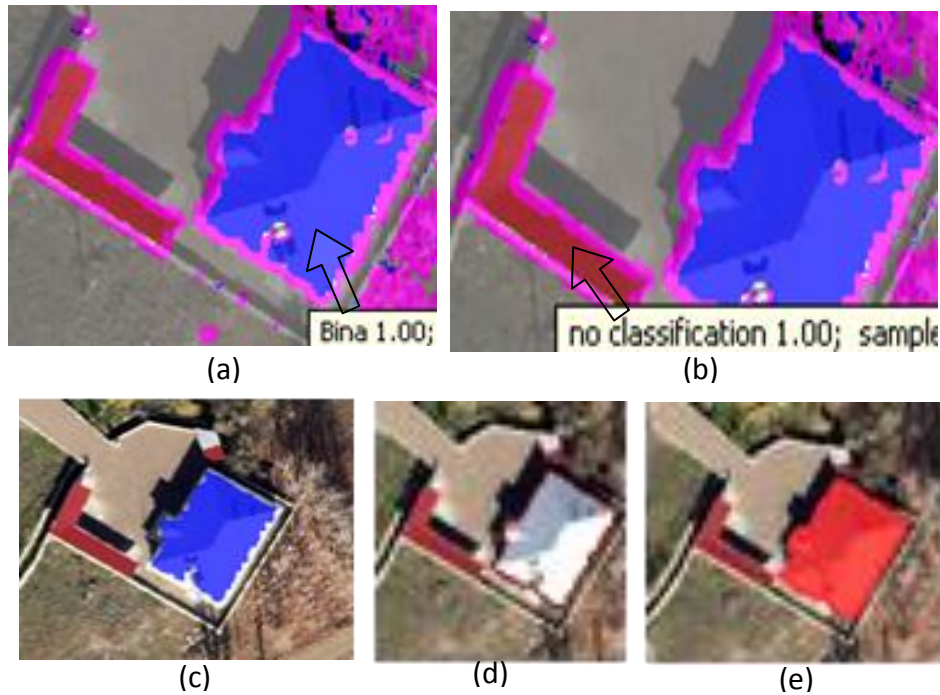
4.4.5.2 Bina ile Bina Görünümlü Objelerin Karışıklığının Giderilmesi

Ülkemizde sayısal görüntülerde bina görünümlü objelerin bina sınıfı olarak algılanması sık karşılaşılan bir durumdur. Özellikle kentsel alanlarda kurulan geçici pazar yerleri, ramazan, eğlence ve fuar çadırları, güneşlik tenteleri ve serinlemek için oluşturulmuş alanlar, inşaat sahalarındaki konteyner vb. objeler bina olarak algılanarak yanlış sınıflandırılmaktadır. Bu durum kırsal alanlardaki samanlık ve kerpiç duvarlarda da söz konusudur. Bu duruma örnek olarak Şekil 4.63a’da verilen görüntüde bina görünümlü kerpiç, duvar vb. objelerin, önerilen yaklaşımdaki analizler sonucunda bina olmadığı tespit edilmiş ve sınıflandırma sonucu bina sınıfına dahil edilmemiştir (Şekil 4.63b).



Şekil 4. 63 Bina görünümlü objelerin yakalanması (a) ve bina sınıfından çıkarılması (b)

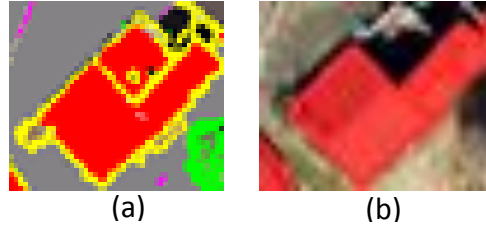
Bina olmadığı halde bina olarak algılanan güneşlik, tente vb. objeler tek başına kullanılan algılama sistemleri ile obje çıkarımında karşılaşılan sorunlardır. Örneğin; otomatik bina çıkarımında sadece sayısal görüntü kullanıldığında, bina ile aynı gri değere sahip bu yapıdaki objeler, sınıf karışıklığına sebep olmuştur. Bu sınıf karışıklığı problemi, sadece LiDAR kullanıldığında da aynı yükseklik değerine sahip objelerde yaşanmıştır. Bina görünümlü objelerin bina sınıfı olarak algılanmasına bir örnekte Şekil.4.64’de verilmiştir. Çalışma Alanı (2)’ye ait bu görüntüde bina ve bina olmayan objenin önerilen yaklaşımın sınıflandırma aşamasında gerçekleştirilen analizler sonucunda objeleri atadığı sınıflar verilmiştir. Şekil.4.64a’da mevcut bina (mavi renk ile temsil edilen), bina sınıfına atanmıştır. Bina olmayan obje ise sınıflandırılmamış sınıfına atanmıştır (Şekil.4.64b). Bina iyileştirme aşamaları Şekil 4.64c ve Şekil 4.64d’de verilmiştir. Bu aşamalar sonunda önerilen yaklaşım ile bina olmadığı halde bina olarak algılanan objelerin Bina sınıfı ile karışmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.64e). Çoklu algılama sistemi verileri kullanılarak önerilen yaklaşım ile bu sorunun çözümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 64 Bina olmadığı halde bina olarak algılanan objenin sınıflandırma örneği

Bina çıkarımlarında sık karşılaşılan bir diğer önemli durum ise bina olmadığı halde bina olarak çıkartılan objelerdir. Bu probleme örnek Şekil 4.65a’da verilmiştir. Bitişik binanın avlusu, bina olarak yakalanmış ve önerilen yaklaşımda geliştirilen kurallar ile yanlış

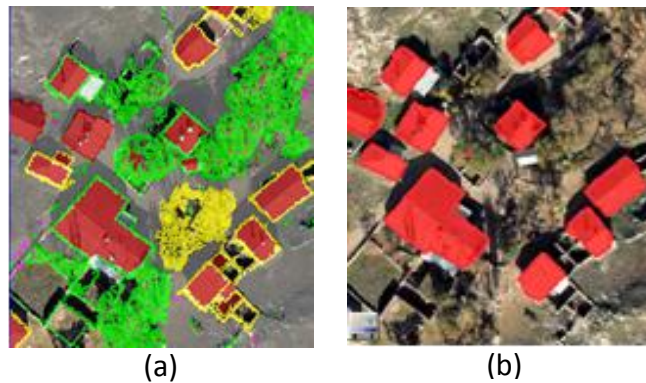
yakalanan avlu bina sınıfından çıkarılmıştır (Şekil 4.65b). Bu durumdaki karışıklıklar LiDAR nokta bulutundan elde edilmiş YM ve intensity görüntüsü ile yapılan analizler sonucunda ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4. 65 Yanlış çıkarılan bina avlusu objesinin bina sınıfından çıkarılması: bina sınıfındaki yanlış çıkarılan obje (a) ve bina sınıfından elimine edilme örneği

4.4.5.3 Bina ile Yeşil Alan Sınıfı Karışıklıklarının Giderilmesi

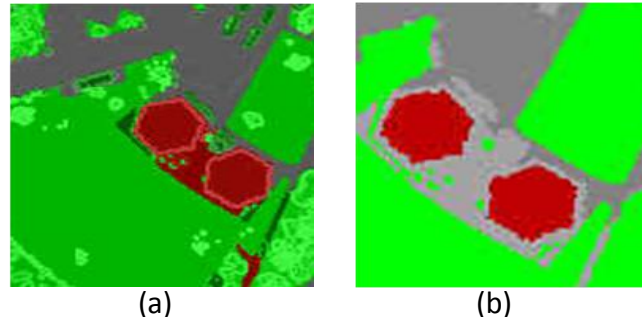
Aynı spektral yansıma değerine sahip bina çatıları ve yeşil alanların sınıflandırma aşamasında sınıf karışıklıkları meydana gelir. Önerilen yaklaşım ile bu karışıklığın giderilmesi için yükseklik farkı, alan ve geometrik özelliklerden yararlanılarak geliştirilen kurallar ile çözüm üretilmiştir. Aynı yüksekliğe sahip ağaç ve binalarda meydana gelen sınıf karışıklığında; sayısal görüntü CIR ise NDVI yöntemi ile yeşil alanı binalardan ayırmak çözüm getirirken, eğer RGB görüntü ile çalışılıyorsa bant farkı yöntemi ve intensity görüntü kullanımı ile kurallar geliştirilerek bu problem çözümlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.66a'da bina ile yeşil alan sınıfının karışıklığı ve Şekil.4.66b'de ise bina sınıfına karışan objelerin elemine edildiği bina sınıfı görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4. 66 Bina ile Yeşil alan sınıfı karışıklıklarının giderilmesi örneği

4.4.5.4 Bina ile Zemin Sınıfı Karışıklığının Giderilmesi

Bina çıkarımlarında özellikle sayısal görüntülerde sıkça rastlanılan bina çatılarının, zemin yansımaya değerlerine yakın olan asfalt, sac vb. malzemeler ile kaplanması bu sorunu ortaya çıkaran sebeplerdendir. Şekil 4.67’de bina sınıfına ait objeler ile zemin sınıfına ait objelerin aynı veya birbirine yakın değerlere sahip olmasından kaynaklanan bina ile zemin sınıfı karışıklığının giderilmesi örneği verilmiştir. Şekil 4.67a’da bina sınıfına ait objelerin zemin sınıfı ile karışmış görüntü verilmiştir. Bu karışıklığın giderilmesi için Çizelge 4.11’de verilen çoklu algılama sistemi veri seti ile nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı bina sınıfı iyileştirme adımları ile çözülmüştür. Bina ve zemin sınıfı karışıklığı sorunu intensity görüntü ve Hough görüntüsü yardımıyla çözülmüştür. Şekil 4.67b’de bina ile zemin sınıfı karışıklığının giderilmiş görüntü verilmiştir.



Şekil 4. 67 Bina sınıfına ait objelerin zemin sınıfı ile karışmış görüntü (a) ve bina ile zemin sınıfı karışıklığının giderilmiş görüntü (b)

4.4.5.5 Gölge Problemi

Sayısal kameradan elde edilen görüntülerde gölge problemi otomatik obje çıkarımında olumsuz sonuçların oluşmasına sebep olan önemli bir etkidir. Bu problemin çözümünde sayısal görüntüye alternatif olarak sunulan çoklu algılama sistemi verileri (LiDAR nokta bulutu ve intensity) kullanılmıştır. Bu çalışmada, bina üzerinde oluşan gölgeler LiDAR verisinden elde edilen YM ve eğim analizi ile bina konturları belirginleştirilerek bina çıkarımında gölge probleminden kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılmıştır. Bina iyileştirme aşamasında ise gölgeden kaynaklanan hataların giderilmesi için mevcut görüntüdeki gölgeler ayrı bir sınıf altında toplanarak sınıf karışıklığı giderilmiştir. Gölge sınıfı, Çalışma Alanı (1) için oluşturulma ihtiyacı duyulmamış, fakat Çalışma Alanı (2) için oluşturulmuştur.

Şekil 4.68a’da verilen görüntüdeki gölge alanları mevcuttur. Bu gölge alanların diğer sınıflar ile karışmaması için Şekil 4.68b’de gösterilen gölge sınıfı oluşturulmuştur. Gölge sınıfının oluşturulma aşaması Çizelge 4.14, Kural10’da detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 4. 68 Gölge alanların mevcut olduğu görüntü (a) ve gölge sınıfını gösteren görüntü (b)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, LiDAR, sayısal kamera ve GPS/IMU'dan oluşan çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler kullanılarak, nesneye yönelik kural-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile bina, yeşil alan, zemin vb. objelerin otomatik çıkarımı için farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın geliştirilmesinde öncelikle tekli algılama sistemi verileri ile piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılarak otomatik bina çıkarımı olanakları araştırılmıştır. Tekli algılama sistemi verileri ile otomatik bina çıkarımında karşılaşılan bu problemlerin çözümü ve sınıflandırma doğruluğunun artırılması için geliştirilen yaklaşımla, çoklu algılama sistemi verileri kullanılarak sınıfların farklı özelliklerinin tespitine dayanan nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, Çalışma Alanı (1) (Kaliforniya, ABD) verileri ile piksel tabanlı sınıflandırmada; kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA yöntemi) sonucunda beş sınıf ve kontrollü sınıflandırma (en yakın komşuluk yöntemi) sonucunda bina, yeşil alan, zemin, anfi tiyatro ve toprak alan sınıfları oluşturulmuştur. Bu yöntemle oluşturulan sınıflarda, aynı spektral değere sahip olan farklı objelerin aynı sınıf altında toplandığı, bina sınıfı ile toprak alan, anfi tiyatro ve zemin sınıflarının karıştığı tespit edilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu; genel sınıflandırma için % 68, genel Kappa için % 60 ve bina sınıfı Kappa değeri için %40 olarak elde edilmiştir.

Tekli algılama sistemi verileri ile otomatik bina çıkarımı olanakları, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak Çalışma Alanı (1)'de; (i) sadece sayısal görüntü, (ii) sadece sayısal görüntü ve sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek

görüntüler ve (iii) sadece LiDAR verileri (YM ve intensity) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sadece sayısal görüntü kullanılarak çoklu çözünürlüklü segmentasyon ve bulanık mantığa dayalı sınıflandırma (i) sonucunda otomatik çıkarılan bina sınıfı Kappa değeri %62 olarak elde edilmiş, piksel tabanlı sınıflandırma yöntemine göre %22 iyileştirme sağlanmıştır. Bununla birlikte, aynı yansıma değerine sahip bina olmayan toprak, zemin konteyner ve anfityatro sınıflarının bina sınıfı altında toplandığı ve binaların tamamının çıkarılamadığı tespit edilmiştir.

İlk yaklaşımda karşılaşılan sınıf karışıklığının azaltılması ve sonuçların iyileştirilmesi amacıyla ikinci yaklaşımda (ii) ek olarak üretilen NDVI, Hough ve Canny görüntüleri kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. NDVI görüntüsü yardımıyla yeşil alan sınıfı oluşturulduğunda bina ile yeşil alan arasındaki sınıf karışıklığı azaltılmış ve otomatik çıkarılan bina sınıfı doğruluğunda ilk yöntemine göre %4, piksel tabanlı sınıflandırma yöntemine göre %26 iyileştirme sağlanmıştır. Aynı iyileştirme üretilen Hough ve Canny görüntüleri kullanıldığında sağlanamamış ve doğruluk değeri %55 olarak elde edilmiştir. Üretilen bu görüntülerinin tek başına bina sınıfının doğrudan oluşturulmasında beklenen iyileştirmeyi sağlamamasına karşın, bina sınıfının iyileştirilmesi aşamasında kullanımı daha uygundur.

Sadece LiDAR verileri (DSM ve intensity) kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma (iii) ile otomatik obje çıkarımında, sayısal yüzey modeli, yoğunluk değeri ve Zevenbergen & Thorne eğim yöntemi ile üretilen Eğim görüntüsü kullanılarak otomatik bina çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımda otomatik çıkarılan bina sınıfı Kappa değeri %55 olarak elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, LiDAR yoğunluk verisinin otomatik olarak çıkarılan bina sınıfı doğruluğuna büyük katkı sağladığı, kullanılmaması durumunda ise doğruluğun %43'e düştüğü tespit edilmiştir.

Tekli algılama sistemi ile elde edilen sayısal görüntüler kullanılarak gerçekleştirilen otomatik bina çıkarımında gerek piksel tabanlı gerekse nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde karşılaşılan temel problemler, aynı spektral değere sahip olan farklı objelerin aynı sınıf altında toplanması ve bunun sonucunda bina sınıfı ile diğer sınıfların karışmasıdır.

Sayısal görüntü işleme teknikleri yardımıyla elde edilen ek görüntüler kullanılarak gerçekleştirilen otomatik bina çıkarımında sınıf karışıklığında azalma ve bina sınıfında iyileştirme sağlanmakla birlikte yeterli düzeyde olmamıştır. Sadece LiDAR verileri kullanılarak otomatik bina çıkarımında, sayısal görüntüdeki yaşanan aynı spektral değere sahip olan farklı objelerin aynı sınıf altında toplanması probleminin bir benzeri olarak, aynı yükseklik değerine sahip farklı objelerin aynı sınıf altında toplanmış ve sınıf karışıklığı problemine ilişkin beklenen iyileştirme sağlanamamıştır.

Bu problemlerin çözümü amacıyla, çoklu algılama sistemi verileri ile otomatik bina çıkarımı olanakları nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak Çalışma Alanı (1)'de analiz edilmiştir. Geliştirilen kural setleri yardımıyla çoklu algılama sisteminin sağladığı veriler kullanılarak bina, yeşil alan, zemin ve diğer isimli hedef sınıflar çıkarılmış ve bu amaçla bina sınırı, yerden yüksek objeler, sınıflandırılmamış vb. ara sınıflar oluşturulmuştur. NDVI, Hough, eğim ve intensity görüntüsü farklı aşamalarda farklı ağırlık değerleri ile kullanılarak sınıf karışıklığı, gürültü, gölge vb. sorunların çözümü için kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, elde edilen hedef sınıfların doğruluğu ardışık olarak sıralanan kural setlerine bağlıdır. Kural setlerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi için, kullanılan ortofoto ve yardımcı görüntülerin piksel gri değerleri yanında şekil, doku, parlaklık gibi özelliklerin analizi, segmentasyon ve sınıflandırma aşamasında kullanılacak sınır değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak geliştirilen yaklaşım ile oluşturulan kural setleri kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu otomatik olarak çıkarılan bina sınıfı için genel sınıflandırma için %94, genel Kappa için %88 ve bina sınıfı Kappa değeri için %72 olarak elde edilmiştir. Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemine göre önemli ölçüde (genel sınıflandırma % 26, genel Kappa %28, bina sınıfı Kappa değeri %32) iyileştirme sağlanmıştır. Geliştirilen yaklaşımla, otomatik olarak çıkarılan binalar ile bu binalara ait referans veri seti kullanılarak hesaplanan bütünlük %96.73 ve doğruluk değeri %95.02 olarak elde edilmiştir. Bu yaklaşımda, doğru olarak çıkarılan ve her iki veri setinde mevcut olan binalar yanında; referans veri setinde bina olmayan ancak bina olarak sınıflandırılan objeler ve referans veride mevcut olan ancak sınıflandırma sonucunda bina olarak sınıflandırılmamış objelerde dikkate alınmıştır.

Çoklu algılama sistemi verileri ile geliştirilen kural setleri kullanılarak nesneye yönelik kural tabanlı sınıflandırma yöntemi ile otomatik bina çıkarımı Çalışma Alanı (2) (Sivas, Türkiye) içinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma Alanı (2)'ye ait yapay renkli (CIR) görüntüler mevcut olmadığı için NDVI görüntü üretilmemiş, bunun yerine bant farkı görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma (2) için otomatik olarak çıkarılan binalar ile bu binalara ait referans veri seti kullanılarak hesaplanan bütünlük %80 ve doğruluk değeri %85 olarak elde edilmiştir.

Otomatik bina çıkarımı uygulamalarında çoklu algılama sistemi verilerinin kullanım olanaklarının analizinde, sayısal görüntülerin yapay renkli (CIR) olması, yer örnekleme aralığı, LiDAR verisinin nokta sıklığı, doğruluğu, kalitesi, çoklu yansıma değerleri ve intensity verisi yöntemin başarısı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, LiDAR verisi olarak sadece ilk yansıma değerleri kullanılmıştır. Otomatik bina çıkarımında özellikle eğimli arazilerde çoklu yansıma değerlerinin kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilecektir.

Geliştirilen yaklaşım, farklı arazi tipleri için yenilenen parametre analizleri, kural setleri için yeniden belirlenen sınır değerler ve gerektiğinde eklenecek yeni kurallar ile kolayca uygulanabilecek niteliktedir. Gelecekte ülkemize ait farklı arazi tiplerine ilişkin çoklu algılama sistemi ile elde edilen veriler kullanılarak ülkemize özgün otomatik bina çıkarımı yaklaşımı daha da geliştirilecektir. Bu anlamda bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma sınırlı veri seti ile gerçekleştirilmiş bir prototip niteliğindedir. Geliştirilen yaklaşım, otomatik bina çıkarımında genel sorunların giderilmesi amaçlı tasarlanmış ve farklı bölgeler içinde çalışabilir niteliktedir. Bu yaklaşımla, oluşturulan kural setlerinde yapılacak ufak çaplı değişiklikler ile farklı sınıflarda otomatik olarak çıkarılabilecek ve ülkemizin olası farklı problemlerin çözümünde kullanılabilecek niteliktedir. Bu problemlere örnek olarak; kentsel alanlardaki büyüme ile mekânsal ve zamansal değişimlerin tespiti, kentsel dönüşüm projelerinin uygulanması için mevcut binalara ait doğru, güncel ve hızlı bina verisi ihtiyacının karşılanması, deprem kuşağında yer alan kentlerde acil afet bilgi sisteminin ihtiyacı olan bina ve diğer objelere ilişkin verilerin otomatik elde edilmesi, orman alanlarında ve su havzalarında kaçak yapılaşmanın takibi ve önlenmesi verilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Vosselman, G., Sester, M. ve Mayer, H., (2004). "Basic Computer Vision Techniques". In: Manual of photogrammetry ed. by J.C. McClone, E.M. Mikhail, J.S. Bethel, Fifth edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 455-504, Bethesda.
- [2] Ballard, D. H. ve Brown, C. M., (1982). Computer Vision, Prentice-Hall.
- [3] Maktav, D., Jürgens, C., Siegmund, A., Sunar, F., Eşbah, H., Kalkan, K., Uysal, C., Mercan, O.Y., Akar, İ., Thunig, H., Wolf, N., (2011). "Multi-criteria Spatial Decision Support System for Valuation of Open Spaces for Urban Planning". Recent Advances in Space Technologies (RAST), 5th International Conference, 160-163.
- [4] Kalkan, K., (2011). Kentsel Gelişim İçin Potansiyel Açık Alanların Belirlenmesinde Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi İle Transfer Edilebilir Kural Dizisi Oluşturulması, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Eker, O. ve Şeker, D.Z., (2006). "Hava Fotoğraflarından Çizgisel Detayların Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi", İTÜ dergisi, 6: 3-14.
- [6] Eker, O., (2006). Hava Fotoğraflarından Yarı Otomatik Olarak Çizgisel Detayların Belirlenmesi, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Çelik, R., (2006). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinden Tam Otomatik Yol Bilgisi Çıkartma ve CBS Tabanlı Analizi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak.
- [8] Marangoz, A., (2009). Uydu Görüntülerinden Kentsel Ayrıntıların Nesne-Tabanlı Sınıflandırma Yöntemiyle Belirlenmesi ve CBS Ortamında Bütünleştirilmesi, Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Haala, N. ve Brenner, C., (1999). "Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54:130-137.
- [10] Mao, J., Liu, X. ve Zeng, Q., (2009). "Building Extraction by Fusion of LIDAR Data and Aerial Images", IEEE Urban Remote Sensing Joint Event.
- [11] Wegner, J.D., Hänsch, R., Thiele, A. ve Soergel, U., (2011). "Building Detection From One Orthophoto and High-Resolution InSAR Data Using Conditional

- Random Fields”, IEEE Journal of selected topics in applied Earth Observations and Remote Sensing, 4: 83-91.
- [12] Benz, U., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. ve Heynen, M., (2004). “Multi-Resolution, Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-Ready Information”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58: 239-258.
 - [13] Heipke, C. (1996). Overview of Image Matching Techniques, OEEPE Workshop on the Application of Digital Photogrammetric Workstations, Part III, Lausanne, Switzerland.
 - [14] 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.
 - [15] Kraus, K., (1997). Restitution of airborne laser scanner data in wooded areas, Proceedings of the EARSeL 3rd Workshop on Laser Remote Sensing of Land and Sea, Tallinn, Estonia, 97–104.
 - [16] Elberink, O., (2010). “Acquisition of 3D Topography: Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps”, Ph.D. Thesis, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enscheda, The Netherlands.
 - [17] Sithole, G. ve Vosselman, G., (2006). “Bridge detection in airborne laser scanner data”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 61:33-46.
 - [18] Yao, W., Stilla, U., Wu, J. ve Hinz, S., (2011). “Investigation on the performance of velocity estimation of vehicles from airborne LiDAR data”, Urban Remote Sensing Event (JURSE), 5-8.
 - [19] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. ve Kubik, K., (2004). “Fusing Airborne Laser Scanner Data and Aerial Imagery For The Automatic Extraction of Buildings In Densely Built-Up Areas”, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing's Twentieth Annual Congress, Istanbul, Turkey, 512-517.
 - [20] Baltsavias, E. P., (1999). “Airborne laser scanning: Existing systems and firms and other resources”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:164-198.
 - [21] Ackermann, F., (1999). “Airborne Laser Scanning - Present Status and Future Expectations”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54: 64-67.
 - [22] Lohr, U., (1997). Digital Elevation Models by Laserscanning, CoastGIS '97, Second International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management, Aberdeen, UK.
 - [23] Drake, J. B., Dubayah R. O. ve Clark, D. B., (2002). “Estimation of Tropical Forest Structural Characteristics Using Large-Foot Print Lidar”, Remote Sensing. Environment, 79:305-319.

- [24] Maas, H. ve Vosselman, G., (1999). "Two Algorithms For Extracting Building Models From Raw Laser Altimetry Data", *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 54:153-163.
- [25] Cobby D.M., Mason D.C., Davenport I.J., (2001). "Image Processing of Airborne Scanning Laser Altimetry Data For Improved River Flood Mapping", *ISPRS Journal of Photogrammetry, Remote Sensing*. 56:121–138.
- [26] Steinle, E., Kiema, J. ve Leebemann, J., (2001). Laser Scanning For Analysis of Damages Caused By Earthquake Hazards, *Proceedings of the OEEPE-Workshop on Airborne Laser scanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models*, Stockholm.
- [27] Sithole, G., (2005). Segmentation and classification of airborne laser scanner data, Ph.D. Thesis, University of Delft, Publications on Geodesy, The Netherlands.
- [28] Dash, J., Steinle, E., Singh, R.P. ve Bähr, H.-P., (2004). "Automatic Building Extraction From Laser Scanning Data, An Input Tool For Disaster Management", *Advances in Space Research*, 3:317-322.
- [29] Korpela, I., Ørka, H. O., Heikkinen, V., Tokola, T. ve Hyyppä, J., (2010). "Range- and AGC Normalization of LIDAR Intensity Data for Vegetation Classification" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65:369–379.
- [30] Höfle, B., Geist, T., Rutzinger, M. ve Pfeifer, N. (2007). "Glacier Surface Segmentation Using Airborne Laser Scanning Point Cloud and Intensity Data", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Part 3/W52, Espoo, Finland, 195-200.
- [31] Habib., A (2009), "Integration of LiDAR and Photogrammetric Data: Triangulation and Orthorectification" *Topographic Laser Ranging And Scanning, Principles and Processing*, Edited by Jie Shan and Charles K. Toth,.600., Chapter 13, 371-400.
- [32] García, M., Riano D, Chuvieco E., Salas, J., Danson, F.M., (2011). "Multispectral and LiDAR data fusion for fuel type mapping using Support Vector Machine and decision rules", *Remote Sensing of Environment*, 115:1369–1379.
- [33] Sohn G. ve Dowman I., (2007). "Data Fusion of High-Resolution Satellite Imagery and LiDAR Data for Automatic Building Extraction", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62:43–63.
- [34] Kabolizade, M., Ebadi, H. ve Ahmadi, S., (2010). "An Improved Snake Model for Automatic Extraction of Buildings from Urban Aerial Images and Lidar Data", *Computers, Environment and Urban Systems*, 435-441.
- [35] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. ve Kubik, K., (2007). "Building Detection By Fusion of Airborne Laser Scanner Data and Multi Spectral Images: Performance Evaluation and Sensitivity Analysis" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 135-149.
- [36] Zhoua, G., Songa, C., Simmersb, J. ve Cheng, P., (2004). "Urban 3D GIS from LiDAR and Digital Aerial Images", *Computers & Geosciences* 30: 345–353.

- [37] Rottensteiner F., Trinder, J., Clode, S. ve Kubik, K., (2005)a. "Using the Dempster Shafer method for the fusion of LIDAR data and multispectral images for building detection", *Information Fusion*, 6 (4), 283-300.
- [38] Vosselman, G., (2000). "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", *IAPRS*, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands, 935-942.
- [39] Schenk, T. (1999). *Digital Photogrammetry*, Terra-Science, Laurelville.
- [40] Hu, Y., (2003). *Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data*, Ph.D. Thesis, The University of Calgary, Degree of Doctor of Philosophy, Department of Geomatics Engineering.
- [41] Navulur K., (2007). *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.
- [42] Rottensteiner, F., Baillard, C., Sohn, G. ve Gerke, M., (2012). "ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction", *ISPRS Commission III Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis Working Group III/4 Complex Scene Analysis and 3D Reconstruction*, <http://www.commission3.isprs.org/wg4/>
- [43] Rottensteiner, F., Summer, G., Trinder, J., Clode, S. ve Kubik, K. (2005)b. "Evaluation of a Method for Fusing LiDAR Data and Multispectral Images for Building Detection", *Proceedings of the ISPRS Workshop CMRT 2005: Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring Concepts, Algorithms and Evaluation*, Vienna, Austria, 15-20.
- [44] Lafarge, F., Descombes X, Zerubia J ve Pierrot-Deseilligny M, (2008). "Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63: 365-381.
- [45] Matikainen, L., Hyypä, J. ve Kaartinen, H., (2004). "Automatic Detection of Changes From Laser Scanner and Aerial Image Data For Updating Building Maps, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B2, 434-439.
- [46] 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, ISSN 1682-1750, 25-30.
- [47] Mayer H., (2008). "Object Extraction in Photogrammetric Computer Vision", *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing* 63:213–222.
- [48] Rottensteiner F. ve Briese C., (2002). "A new Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LIDAR Data", *IAPRS XXXIV* 3A:295–301.
- [49] Külür, S., (2011), "JDF331, Fotogrametri I", Ders Notu, İstanbul, Türkiye.
- [50] Kilian, J., Haala N. ve Englich M., (1996). "Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, B3, Vienna, Austria.

- [51] Vosselman, G., (2000). "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands, 935-942.
- [52] Morgan, M. ve Tempfli, K. (2000). "Automatic Building Extraction From Airborne Laser Scanning Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Part B3, Netherlands, 616–623.
- [53] Lohmann, P., Koch, A. ve Schaeffer, M., (2000). "Approaches to The Filtering of Laser Scanner Data", IAPRS, Vol. XXXIII, Part B3/1, Amsterdam, The Netherlands, 534-541.
- [54] Wack, R. ve Wimmer, A., (2002). "Digital Terrain Models From Airborne Laser Scanner Data – A Grid Based Approach", IAPRS, Vol. XXXIV Part 3B, ISPRS Commission III, Symposium, September 9-13, Graz, Austria, 293-296.
- [55] Peng, J., Zhang, D. ve Liu, Y., (2005). "An Improved Snake Model for Building Detection From Urban Aerial Images", Pattern Recognition Letters, 26:587-595.
- [56] Hoffman, R. ve Jain, A.K., (1987). "Segmentation and Classification of Range Images", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 9: 608–620.
- [57] Hough, P., (1962). "Methods and Means For Recognizing Complex Patterns", U.S. Patent, 3,069,654.
- [58] Tarsha - Kurdi, F., Landes, T. ve Grussenmeyer, P., (2007). "Hough Transform and Extended Ransac Algorithms For Automatic Detection of 3D Building Roof Planes From Lidar Data. ISPRS, 36:407-412.
- [59] Zevenbergen L. ve Thorne C., (1987). "Quantitative Analysis of Land Surface Topography", Earth Surface Processes and Landforms 12:47–56.
- [60] Demir, N., Poli, D. ve Baltsavias, E., (2009). "Detection of Buildings at Airport Sites Using Images & Lidar Data and A Combination of Various Methods, IAPRS, Paris, France, 71-77.
- [61] Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M. ve Fraser, C. S. (2010). "Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65:457-467.
- [62] Matikainen, L., Hyypä, J. ve Kaartinen, H., (2004). "Automatic Detection of Changes From Laser Scanner and Aerial Image Data For Updating Building Maps, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Turkey, Part B2, 434-439.
- [63] Richards, J.A., (1993). "Remote Sensing and Digital Image Analysis", Springer, Verlag, Berlin.
- [64] Yong. L. ve Huayi, W. (2008). "Adaptive building edge detection by combining LiDAR data and aerial images", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1, Beijing 2008.
www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/33.pdf
- [65] Blaschke, T., (2010). "Object Based Image Analysis for Remote Sensing". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, (65), 2–16.

- [66] Pakzad, K., Klink, A., M terthies, A., Gr ger, G., Stroh, V. ve Pl mer, L., (2011). "Hybrid automatic building interpretation system", ISPRS Hannover Workshop 2011, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W19>
- [67] Elberink, O. ve Vosselman, G., (2011). "Quality analysis on 3D building models reconstructed from airborne laser scanning data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66:157–165.
- [68] 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.
- [69] El-Ashmawy, N., Shaker, A. ve Yan, W., (2011). "Pixel vs object-based image classification techniques for LiDAR intensity data". ISPRS Workshop Laser Scanning 2011, Eds: D.D. Lichti and A.F. Habib, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Full waveform and radiometric modeling.
- [70] 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.
- [71] Beger, R., Gedrange, C., Hecht, R. ve Neubert, M., (2011). "Data fusion of extremely high resolution aerial imagery and LiDAR data for automated railroad centre line reconstruction", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66:40–51
- [72] Gao, Y., (2003). Pixel Based and Object Oriented Image Analysis for Coal Fire Research, MSc. Thesis, University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enschede, The Netherlands.
- [73] Kalkan, K. ve Maktav, D. (2010) "Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS  rneđi)". Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu.
- [74] Avcı, Z. D., (2011). Tarımsal Haritalamada Orta  z n rl kl  Uydu Verileri İle Proses-Tabanlı Görüntü Analizi, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [75] Zhang K., Yan J. ve Chen S., (2008). "A Framework for Automated Construction of Building Models from Airborne LiDAR Measurements". Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and processing. Taylor & Francis, 511-534
- [76] Zeng. Q, (2008). "Data filtering and feature extraction of urban typical objects from airborne lidar point cloud". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Part B3b. Beijing,
- [77] Sampath, A. ve Shan J. (2010). "Segmentation and Reconstruction of Polyhedral Building Roofs From Aerial Lidar Point Clouds". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48, No. 3

- [78] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A. ve Zingaretti, 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
- [79] 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.
- [80] Ameri, B., (2000). Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings from Digital Imagery. Ph.D. Thesis, Stuttgart University, Institute of Photogrammetry, Germany.
- [81] Merrill K.R. ve James D.H., (2006). Remote Sensing of Human Settlements Manual of Remote Sensing Third Edition, 5: 747.
- [82] Clocksin, W.F. ve Mellish, C.S., (1981). Programming in Prolog, Springer Verlag, Berlin.
- [83] Molenaar, M. (1989). "Single Valued Vector Maps: A Concept in Geographic Information Systems", *Geo-Information-Systems (GIS)*, 18-26.
- [84] Haralick, R. ve Shapiro, L. (1993). Mathematical Morphology, Computer and Robot Vision, Addison Wesley.
- [85] Alkış, A., (1997). "Sayısal Arazi Modeli Ders Notları", YTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [86] Yastıklı, N. (2011). "Ortofoto Ders Notu", YTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [87] Yastıklı, N. (2011). "Sayısal Arazi Modeli Ders Notu", YTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [88] Köroğlu, S., (2006). Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği, İstanbul.
- [89] Heipke, C. (1996). Overview of Image Matching Techniques, OEEPE Workshop on the Application of Digital Photogrammetric Workstations, Part III, Lausanne, Switzerland.
- [90] Förstner, W. ve E. Gülch, (1987). "A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centres of Circular Features", *ISPRS Intercommission Workshop, Interlaken*, 149-155.
- [91] Digital Elevation Model Technologies 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.
- [92] Nixon, M. ve Aguado, A., (2008). Feature Extraction & Image Processing, Second edition, Elsevier.
- [93] Arefi H., Engels J., Hahn M. ve Mayer H., (2008). "Approximation of Building Boundaries", *Urban and Regional Data Management*, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-44059-2.

- [94] Campbell, B. M., Clarke, J.M. ve Gumbo, D. J., (1991). "Traditional Agriforestry Practices in Zimbabwe", 2:99-111.
- [95] Sester, M., (2000). "Generalization Based on Least Squares Adjustment", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, B4, 33:931-938
- [96] Gonzalez, R. (2009), Digital Image Processing Using MATLAB 2nd Ed., Richard Woods.
- [97] McClone, J.C., Mikhail, E.M. ve Bethel, J.S. (2004). Manual of Photogrammetry Fifth edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 1143, Bethesda.
- [98] Alpaugh D., (2004). A Brief History of Photogrammetry, Manual of photogrammetry, Derleyen: J.C. McClone, E.M. Mikhail, J.S. Bethel. Fifth edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 1-14, Bethesda.
- [99] Matheron G. ve Serra J., (2002). "The Birth of Mathematical Morphology", ISMM, Sydney, 3-5.
- [100] Quillian, M. (1968). "Semantic Memory", Derleyen: M. Minsky, Semantic Information Processing, 227-270, MIT Press; Collins & Smith
- [101] Pal, N. R. ve Pal, S. K., (1993). "A Review on Image Segmentation Techniques", Pattern Recognition, 26(9), 1274-1294.
- [102] Filin, S., (2002). "Surface Clustering From Airborne Laser Scanning Data", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, 3A, Graz, Austria, 119–124.
- [103] Ballard, D. H. ve Brown, C. M. (1982). Computer Vision, Prentice Hall, New Jersey, 539.
- [104] Ilic, S. ve Ulicny, B., (2000). "Seeded Region Growing Method for Image Segmentation", Assignment for Computer Vision Work Paper Presentation, The Swiss Federal Institute of Technology.
- [105] Dash, J., Steinle, E., Singh, R.P. ve Bähr, H.-P., (2004). "Automatic Building Extraction From Laser Scanning Data, An Input Tool For Disaster Management", Advances in Space Research, Volume 33, 3:317-322.
- [106] E-cognition Developer 8.64 User Guide, www.definiens-imaging.com, 3 Mart 2011.
- [107] Dorninger, P. ve Pfeifer N. (2008). "A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds", Vienna, 8(11), 7323-7343.
- [108] Definiens E-cognition Developer 8.64 Reference Book, Germany
- [109] Remote Sensing of Human Settlements (2006). Manual of Remote Sensing Third Edition, vol. 5, Derleme: Merrill K. Ridd, James D. Hipple, 747.
- [110] Topographic Laser Ranging And Scanning, Principles and Processing, Edited by Jie Shan and Charles K. Toth, 600.

- [111] Mather, P. ve Koch, M., (2011). Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74239-6.
- [112] Zadeh, L. A., (1965). "Fuzzy Sets", Information Control, 8:338-353.
- [113] Sohn G., Huang X. ve Tao V., (2008). "Using a Binary Space Partitioning Tree For Reconstructing Polyhedral Building Models From Airborne Lidar Data", Photogrammetric Engineering Remote Sensing.
- [114] Morgan, F. M., (1999). Building Extraction from Laser Scanning Data, Msc. Thesis, ITC, The Netherlands.
- [115] Weidner U., (1995). "Evaluation of Building Extraction from Digital Elevation Models", Technical Report 95/2 , Institut fur Photogrammetrie, Bonn.
- [116] Congalton, R. G. ve Green K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- [117] Korpela, I., Ørka, H. O., Heikkinen, V., Tokola, T. ve Hyypä, J., (2010). Range and AGC Normalization of LIDAR Intensity Data for Vegetation Classification" ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65:369–379.
- [118] Lane, S.N., Westaway, R.M. ve Hicks, D.M., (2003). "Estimation of erosion and deposition volumes in a large, gravel-bed, braided river using synoptic remote sensing", Earth Surface Processes and Landforms, 28: 249-271.
- [119] The U.S. Geological Survey, <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1078>, 5 Mayıs 2010.
- [120] Blundell, S. ve Opitz D. W. (2008). "Automated Feature Extraction from Terrestrial and Airborne LIDAR", GEOBIA 2008.
- [121] Ackermann, F., (1999). "Airborne Laser Scanning-Present Status and Future Expectations". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:64-67.
- [122] Yastıklı, N., (2003). GPS/IMU Verilerini Kullanarak Hava Fotoğraflarının Doğrudan Yöneltilmesi ve Birleştirilmiş Blok Dengeleme Olanakları, Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [123] Yastıklı, N., (2006). "Fotogrametri ve Uzaktan Algılama'da Son Gelişmeler", Prof. Dr.Muzafer Şerbetçi Anma Töreni ve Toplantısı Bildiri ve Tutanaklar Kitabı , YTÜ, İstanbul, Türkiye.
- [124] Kılıç, F. G., (2011). "Fotogrametri", Ders Notu, YTÜ, İstanbul, Türkiye
- [125] Wehr, A., (2008). Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing, Edited by Jie Shan and Charles K. Toth, 129-171.
- [126] Wehr, A. ve Lohr, U., (1999). "Airbone Laser Scanning- an Introduction and Overview", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54:68-82.
- [127] Hug, C., Ullrich, A. ve Grimm, A., (2004). "LiteMapper-5600 –A Waveform-Digitizing Lidar Terrain and Vegetation Mapping System". Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, part 8/W2. Freiburg, Germany,

- [128] Weng, Q. ve Quattrochi D. A. (2007). Urban Remote Sensing. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- [129] Schmid, K., (2008). "An Introduction to LiDAR Technology Data and Applications", NOAA Coastal Services Center.
- [130] Csanyi, N ve Toth, C., (2007). "Improvement of LiDAR Data Accuracy Using LiDAR Specific Ground Targets", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 73:385-396.
- [131] Toth C., Brzezinska D., Csanyi N., Paska E. ve Yastikli N., (2007). "Lidar Mapping Supporting Earthquake Research Of The San Andreas Fault", Proc. ASPRS 2007 Annual Conference Identifying Geospatial Solutions (on CD), May 7-11 Tampa-Florida.
- [132] B4 PROJECT. 2012, www.earthsciences.osu.edu/b4, 10 Kasım 2012.

MATLAB KODLAR

Önerilen yaklaşımda çoklu algılama sistemi verileri ile yardımcı görüntüler üretilmesi aşamasında MATLAB programlama dili kullanılarak Eğim görüntüsü, NDVI görüntüsü ve Hough görüntüsü oluşturulmuştur.

A-1 Eğim Analizi Yöntemi ile Eğim Görüntüsü Oluşturma

```
I=imread('mls.jpg');
[i j] = size(I);
ksz = 3;
NR=[i,j];
sm =0;
for n=ksz-1:i-1
    for m=ksz-1:j-1
        dx1= I(n+1,m-1)-I(n-1,m-1);
        dx2=I(n+1,m)-I(n-1,m);
        dx3=I(n+1,m+1)-I(n-1,m+1);
        dy1=I(n-1,m+1)-I(n-1,m-1);
        dy2=I(n,m+1)-I(n,m-1);
        dy3=I(n+1,m+1)-I(n+1,m-1);
        dxo=(dx1+dx2+dx3)/3;
        dyo=(dy1+dy2+dy3)/3;
        mls=double((dxo)*(dxo)+(dyo)*(dyo));
        mls=(sqrt(mls));
    if (mls<=1)
        mls=mls*100;
    else
```

```

        mls=200-100/z;
    end
    NR(n,m)=mls;
end
end
imwrite(NR, 'subsetSlp.tif');

```

A-2 Hough Dönüşümü ile Hough Görüntüsü Oluşturma

```

function houghtr(z)
im= rgb2gray(imread('z.tif'));
f=edge(im, 'canny');
figure,imshow(f),title('Image after applying Canny
Filter');
[h,theta,rho]=hough1(f,0.5);
imshow(theta,rho,h,[], 'notruesize'),axis on,axis normal;
xlabel('\theta'),ylabel('\rho');
[r,c]=houghpeaks1(h,5);
hold on;
plot(theta(c),rho(r), 'linestyle','none','marker','s','color
','w');
lines=houghlines1(f,theta,rho,r,c);
figure,imshow(f),hold on;
for k=1:length(lines)
    xy=[lines(k).point1;lines(k).point2];
    plot(xy(:,2),xy(:,1), 'Linewidth',4, 'Color',[.6 .6 .6]);
end
end

function [h,theta,rho]=hough1(f,dtheta,drho)
if nargin<3
    drho=1;
end
if nargin<2
    dtheta=1;
end
f=double(f);

```

```

[m,n]=size(f);
theta=linspace(-90,0,ceil(90/dtheta)+1);
theta=[theta -fliplr(theta(2:end-1))];
ntheta=length(theta);
d=sqrt((m-1)^2+(n-1)^2);
q=ceil(d/drho);
nrho=2*q-1;
rho=linspace(-q*drho,q*drho,nrho);
[x,y,val]=find(f);
x=x-1;y=y-1;
h=zeros(nrho,length(theta));
for k=1:ceil(length(val)/1000)
    first=(k-1)*1000+1;
    last=min(first+999,length(x));
    x_matrix=repmat(x(first:last),1,ntheta);
    y_matrix=repmat(y(first:last),1,ntheta);
    val_matrix=repmat(val(first:last),1,ntheta);
    theta_matrix=repmat(theta,size(x_matrix,1),1)*pi/180;

    rho_matrix=x_matrix.*cos(theta_matrix)+y_matrix.*sin(theta_
matrix);

    slope=(nrho-1)/(rho(end)-rho(1));
    rho_bin_index=round(slope*(rho_matrix-rho(1))+1);
    theta_bin_index=repmat(1:ntheta,size(x_matrix,1),1);

    h=h+full(sparse(rho_bin_index(:),theta_bin_index(:),val_mat
rix(:),nrho,ntheta));
end
end

function [r,c,hnew]=houghpeaks1(h,numpeaks,threshold,nhood)
if nargin<4
    nhood=size(h)/50;
    nhood=max(2*ceil(nhood/2)+1,1);
end
if nargin<3
    threshold=0.5*max(h(:));

```

```

end
if nargin<2
    numpeaks=1;
end
done=false;
hnew=h;r=[];c=[];
while ~done
    [p,q]=find(hnew==max(hnew(:)));
    p=p(1);q=q(1);
    if hnew(p,q)>=threshold
        r(end+1)=p;
        c(end+1)=q;
        p1=p-(nhood(1)-1)/2;
        p2=p+(nhood(1)-1)/2;
        q1=q-(nhood(2)-1)/2;
        q2=q+(nhood(2)-1)/2;
        [pp,qq]=ndgrid(p1:p2,q1:q2);
        pp=pp(:);qq=qq(:);
        badrho=find((pp<1)|(pp>size(h,1)));
        pp(badrho)=[];
        qq(badrho)=[];
        theta_too_low=find(qq<1);
        qq(theta_too_low)=size(h,2)+qq(theta_too_low);
        pp(theta_too_low)=size(h,1)-pp(theta_too_low)+1;
        theta_too_high=find(qq>size(h,2));
        qq(theta_too_high)=qq(theta_too_high)-size(h,2);
        pp(theta_too_high)=size(h,1)-pp(theta_too_high)+1;
        hnew(sub2ind(size(hnew),pp,qq))=0;
        done=length(r)==numpeaks;
    else
        done=true;
    end
end
end

function [r,c]=houghpixels1(f,theta,rho,rbin,cbin)

```

```

[x,y,val]=find(f);
x=x-1;
y=y-1;
theta_c=theta(cbin)*pi/180;
rho_xy=x*cos(theta_c)+y*sin(theta_c);
nrho=length(rho);
slope=(nrho-1)/(rho(end)-rho(1));
rho_bin_index=round(slope*(rho_xy-rho(1))+1);
idx=find(rho_bin_index==rbin);
r=x(idx)+1;
c=y(idx)+1;
end

function
lines=houghlines1(f,theta,rho,rr,cc,fillgap,minlength)
if nargin<6
    fillgap=20;
end
if nargin<7
    minlength=40;
end
numlines=0;
lines=struct;
for k=1:length(rr)
    rbin=rr(k);
    cbin=cc(k);
    [r,c]=houghpixels1(f,theta,rho,rbin,cbin);
    if isempty(r)
        continue
    end
    omega=(90-theta(cbin))*pi/180;
    t=[cos(omega) sin(omega);-sin(omega) cos(omega)];
    xy=[r-1 c-1]*t;
    x=sort(xy(:,1));
    diff_x=[diff(x);Inf];
    idx=[0;find(diff_x>fillgap)];

```

```

for p=1:length(idx)-1
    x1=x(idx(p)+1);
    x2=x(idx(p+1));
    linelength=x2-x1;
    if linelength>=minlength
        point1=[x1 rho(rbin)];
        point2=[x2 rho(rbin)];
        tinv=inv(t);
        point1=point1*tinv;
        point2=point2*tinv;
        numlines=numlines+1;
        lines(numlines).point1=point1+1;
        lines(numlines).point2=point2+1;
        lines(numlines).length=linelength;
        lines(numlines).theta=theta(cbin);
        lines(numlines).rho=rho(rbin);
    end
end
end
figure,imshow(f);
end

```

A-3 NDVI Yöntemi ile NDVI Görüntüsü Oluşturma

```

CIR = imread('x.tif');

figure, imshow(CIR)
title('CIR Composite (Un-enhanced)')
text(size(CIR,2), size(CIR,1) + 15,...
    'Image courtesy of Space Imaging, LLC',...
    'FontSize', 7, 'HorizontalAlignment', 'right')

decorrCIR = decorrstretch(CIR, 'Tol', 0.01);
figure, imshow(decorrCIR)
title('CIR Composite with Decorrelation Stretch')

```

```

NIR = im2single(CIR(:,:,2));
red = im2single(CIR(:,:,1));

figure,imshow(red)
title('Visible Red Band')
figure, imshow(NIR)
title('Near Infrared Band')

figure
plot(red, NIR, '+b')
set(gca, 'XLim', [0 1], 'XTick', 0:0.2:1,...
        'YLim', [0 1], 'YTick', 0:0.2:1);
axis square
xlabel('red level')
ylabel('NIR level')
title('NIR vs. Red Scatter Plot')

ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);

figure
imshow(ndvi,'DisplayRange',[-1 1])
title('Normalized Difference Vegetation Index')

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Melis UZAR DİNLEMEK
Doğum Tarihi ve Yeri :21/07/1978-TOKAT
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :auzar@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Geomatik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lisans	İnşaat Mühendisi	Yıldız Teknik Üniversitesi	2004
Lisans	Jeodezi ve Fotogrametri Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2002
Önlisans	Harita Teknikeri	YTÜ Meslek Yüksek Okulu	1998
Lise	Fen Bilimleri	Özel Ayazağa Işık Lisesi	1995

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1997	İmge Harita	Harita Tekniker Stajer
2000	ENKA İnşaat	JFM Stajer
2002	STFA İnşaat	JFM Stajer

2002	Özer İnşaat	İnşaat Müh. Stajer
2002	YTÜ/Rektörlük/Teknopark Koordinatörlüğü	Proje Asistanı
2004	YTÜ/İnşaat Fakültesi/JFM Bölümü	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. **Uzar, M.,** Yastıklı N. LiDAR ve Hava Fotoğrafları ile Otomatik Bina Çıkarımı, Hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Ulusal Hakemli Dergi, 2011/2 Özel Sayı, ISSN 1300-3534, s. 91-95.

Bildiri

1. **Uzar, M.,** Yastıklı N. LiDAR ve Hava Fotoğraflarının Füzyonu İle Otomatik Bina Çıkarımı, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 18–22 Nisan 2011.
2. **Uzar, M.,** Yastıklı N. Çoklu Algılama Sistemleri İle Obje Çıkarımı, TUFUAB VI. Teknik Sempozyumu, Antalya, 23-25 Şubat 2011.

Proje

1. Yastıklı, N., **Uzar, M.** Çoklu Algılama Sistemleri (LiDAR, Sayısal Kamera, GPS/IMU) ile Elde Edilen Veriler Yardımıyla Öznitelik Bilgilerinin (Bina, Bitki Örtüsü) Çıkarımı YTÜ, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, 2010-05-03-DOP01,

ÖDÜLLERİ

1. **Uzar, M.,** Yastıklı N. En iyi poster ödülü “LiDAR ve Hava Fotoğraflarının Füzyonu İle Otomatik Bina Çıkarımı”, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 18–22 Nisan 2011.