



3B NOKTA BULUTLARINDAN BİNA TESPİTİ

DOKTORA TEZİ

Nizar POLAT

Danışman

Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2018

Bu tez çalışması 16.FEN.BIL.18 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

3B NOKTA BULUTLARINDAN BİNA TESPİTİ

Nizar POLAT

Danışman
Doç. Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2018

TEZ ONAY SAYFASI

Nizar POLAT tarafından hazırlanan “3B NOKTA BULUTLARINDAN BİNA TESPİTİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 29/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Murat UYSAL

Başkan : Doç. Dr. İbrahim YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Uğur AVDAN
Anadolu Üniversitesi,
Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü

Üye : Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29/05/2018

Nizar POLAT

ÖZET
Doktora Tezi

3B NOKTA BULUTLARINDAN BİNA TESPİTİ

Nizar POLAT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat UYSAL

Uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen verilerden binaların tespit edilmesi çalışmaları günümüzün önemli araştırma konularından biridir. Nüfus hareketlerinden, şehir gelişimine, kaçak yapı gözleminden döküm çıkarımına kadar birçok alanda ihtiyaç duyulan bina tespiti işleminin doğru ve otomatik olması da önemlidir. Bu tez çalışmasında, Light Detection and Ranging (LiDAR) sistemi ve İnsansız Hava Araçlarından (İHA) elde edilmiş hava fotoğrafları kullanılarak Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) ile üretilen nokta bulutu verileri kullanılarak 4 farklı alanda bina tespiti ve bina izdüşümü alanı çıkarımı yapılmıştır. Bu tez çalışmasında temel yaklaşım olarak binaların yükseklikleri sebebiyle oluşturduğu dokuların diğer objelerden farklı olduğu ve bu durumun bina tespitinde kullanılabileceği görüşü benimsenmiştir.

Bina tespiti konusunda farklı kaynaklardan elde edilen veri setleri ve yöntemleri kullanan birçok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında ise farklı amaçlar için kullanılan Benzemeziklik doku parametresi, bina tespitinde kullanılarak bu alandaki çalışmalara katkı sunulmuştur. Tüm bu çalışmalarda ortak problem bitkilerin binalara karışması olduğu söylenebilir. Literatürdeki çalışmalarda bu problem bitki indeksi ya da sınıflandırma gibi yardımcı verilerle çözülürken bu çalışmada Aşınma operatörü kullanılarak herhangi bir yardımcı veriye gerek kalmadan bitkiler büyük oranda temizlenmiştir.

Önerilen yöntem farklı bölgelerde farklı veri kaynaklarıyla elde edilen verilere uygulanmıştır. ISPRS'den temin edilmiş Vaihingen test alanında elde edilen sonuçlar

diğer araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Vaihingen test alanında Kalite parametresi sonuçları birinci bölgede %76,6 ikinci bölgede %89,4 ve üçüncü bölgede %90,9 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılarak yöntemin tutarlılığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak yardımcı veri setlerine ihtiyaç duymadan, farklı topografya ve bina özellikleri taşıyan bölgelerde ve farklı veri setlerinde uygulanan yöntem ile elde edilen sonuçlar, Benzemezlik doku parametresinin bina tespiti çalışmalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

2018, xiv + 140 sayfa

Anahtar Kelimeler: LiDAR, İHA, Nokta bulutu, SfM, Morfolojik aşınma, Bina tespiti

ABSTRACT
Ph.D. Thesis

BUILDING DETECTION FROM 3D POINT CLOUD

Nizar POLAT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Murat UYSAL

Building detection from data obtained by remote sensing technologies is one of the most important research topics of our time. It is also important that the building detection process, which is needed in many areas, from population movements to city development, from illegal building observation to casting inference, is accurate and automatic. In this research, the building detection and footprint extraction is made in 4 different study sites by using point clouds data obtained from Light Detection and Ranging (LiDAR) system and Structure from Motion (SfM) with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based aerial images. The basic approach of the study has been adopted as the textures of buildings are different from other objects and this fact can be used in building detection.

In the literature survey, it has been found that there are many studies using different data sets and methods in this subject. In this thesis study, the dissimilarity texture parameter which is used for different purposes was used in building determination and contribution to the work in this area was presented. In all these studies, it can be said that common problem plants are mixed with the buildings. While this problem has been solved by using additional data such as vegetation index or classification in other studies, a Morphological Erode operator was used to filter the vegetation with a high rate of success in this study.

Applications in different regions with different data sources and the comparison of the results of the Vaihingen data set obtained from ISPRS with the results of other

researchers are consistent. As a result, the outcomes of the study obtained by the proposed method, applied in different datasets and test sites with different topography and building properties show that without using any auxiliary data sets, the dissimilarity texture parameter can be used in the building detection studies.

2018, xiv + 140 pages

Keywords: LiDAR, UAV, Point cloud, SfM, Morphological erode, Building detection



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Murat UYSAL'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen ve eleştirileriyle yol gösteren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR' e ve Sayın Doç. Dr. Uğur AVDAN' a ve ayrıca her konuda öneri ve yardımlarını gördüğüm tüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmama 16.FEN.BIL.18 numaralı BAPK projesi ile katkı sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne, verilerin temininde desteklerini esirgemeyen Harita Genel Komutanlığı'na, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi'ne ve Almanya Fotogrametri, Uzaktan Algılama ve Geoinformasyon Topluluğu'na (DGPF) teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı, başta değerli eşim Fatma Nur POLAT Hanımefendiye ve tüm aileme teşekkür ederim.

Nizar POLAT

AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Görüntü Tabanlı Çalışmalar	6
2.2 Nokta Bulutu Tabanlı Çalışmalar	9
2.3 Nokta Bulutu ve Görüntü Verilerinin Beraber Kullanımı	12
3. MATERYAL ve METOT	15
3.1 Veri Toplama ve Değerlendirme	15
3.1.1 LiDAR Sistemi	15
3.1.2 Fotogrametri	19
3.1.3 Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM)	21
3.2 Ön İşlemler	22
3.2.1 Aykırı Değer Filtreleme	22
3.2.2 Bağdaştırma	24
3.2.3 Enterpolasyon	25
3.2.4 Mekânsal Çözünürlük	26
3.2.5 Yer ve Obje Noktalarının Ayrılması	27
3.2.6 Sayısal Yükseklik Modelleri	28
3.3 Bina Tespiti	29
3.3.1 Matematiksel Morfoloji	29
3.3.2 Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GSEM) ve Doku analizi	31
3.3.3 Renk Dilimleme	34
3.3.4 Poligon Basitleştirme	35
3.4 Doğruluk Analizi	36
4. UYGULAMA	39
4.1 ANS Kampüsü Test Alanı	42

4.2 İstanbul Test Alanı.....	54
4.3 Bergama Test Alanı	63
4.3.1 Bergama Test Alanı LiDAR Nokta Bulutu.....	68
4.3.2 Bergama Test Alanı Nadir Uçuş Nokta Bulutu.....	75
4.3.3 Bergama Test Alanı Eğik Uçuş Nokta Bulutu	82
4.4 Vaihingen Test Alanı	90
4.5 Bulgular.....	95
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	99
6. KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	123



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	
2B	İki Boyutlu
3B	Üç boyutlu
ASPRS	Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
CSF	Cloth Simulation Filtering
CR	Cloth Resolution
CT	Classification Threshold
DMP	Differential morphological profiles
FN	False Negative
FP	False Positive
GLCM	Gray Level Co-occurrence Matris
GP	Gerçek Pozitif
GPS	Global Positioning System – Küresel Konumlama Sistemi
GSD	Yer örnekleme aralığı - Ground Sample Distance
GSEM	Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi
HGK	Harita Genel Komutanlığı
ICP	Iterative closest point
IMU	Atalet Ölçüm Birimi
ISPRS	Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
İEYN	İteratif En Yakın Nokta
İHA	İnsansız Hava Aracı
KOH	Karesel ortalama hata
KYM	Kırmızı Yeşil Mavi
KYM-KÖ	Kırmızı Yeşil Mavi- Kızıl ötesi
LEGION	Locally Excitatory Globally Inhibitory Oscillator Network
LiDAR	Light Detection and Ranging
Mp	Mega piksel
MSLS	Çok ölçekli yükseklik bölümlemesi
MVS	Çoklu Stereo Görüntü Algoritması
nYM	Normalleştirilmiş Sayısal Yüzey Modeli
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SAH	Spektral Açık Haritalama
SfM	Hareket Tabanlı Yapısal Algılama
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
YM	Sayısal Yükseklik Modeli
TP	True Positive
TGI	Triangular Greenness Index
YKN	Yer Kontrol Noktası
YN	Yanlış Negatif
YP	Yanlış Pozitif

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3. 1 Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı.	15
Şekil 3. 2 Lazer ışınının spektrumdaki yeri.	16
Şekil 3. 3 Hava lazer tarama sistemi.	18
Şekil 3. 4 Uçuş planlaması ve dikkat edilmesi gereken parametreler.	20
Şekil 3. 5 SfM yaklaşımında fotoğraf çekim konumlarına bir örnek	21
Şekil 3. 6 Görüntü tabanlı elde edilen nokta bulutu örneği (Bergama).	22
Şekil 3. 7 LiDAR verisindeki aykırı değerlerin yandan (a) ve üstten (b) görünüşü.	23
Şekil 3. 8 Aykırı değerleri temizlenmiş LiDAR verisinin yandan (a) ve üstten (b) görünüşü.	24
Şekil 3. 9 CSF algoritmasının temel yaklaşımı (Zhang et al. 2016).	28
Şekil 3. 10 YM ve SAM.	28
Şekil 3. 11 nYM.	29
Şekil 3. 12 Orijinal görüntü (a) ve aşınma operatörü sonucu elde edilen görüntü (b). ..	30
Şekil 3. 13 Eş oluşum matrisinin oluşturulması.	32
Şekil 3. 14 En uzak noktaların tespiti ve yeni doğru oluşturulması.	35
Şekil 3. 15 Elde edilen yeni doğruya en yakın yeni nokta tespiti.	36
Şekil 3. 16 Orijinal veri ve basitleştirilmiş son hali.	36
Şekil 3. 17 Referans ve Model alanları karşılaştırılması.	37
Şekil 4. 1 Kampüs test alanına ait gerçek renkli (a) ve yüksekliğe göre renklendirilmiş (b) ham nokta bulutu.	43
Şekil 4. 2 Kampüs test alanına ait yer (a) ve obje (b) noktaları.	43
Şekil 4. 3 Kampüs test alanına ait YM.	44
Şekil 4. 4 Kampüs test alanına ait SAM.	44
Şekil 4. 5 Kampüs test alanına ait nYM.	45

Şekil 4. 6	Kampüs test alanına ait nYM'den üretilen Haralick doku parametreleri.....	46
Şekil 4. 7	Kampüs test alanına ait Haralick Benzemezlik doku parametresi.	47
Şekil 4. 8	Benzemezlik doku parametresinin kullanıcı kararlı (a) ve otomatik (b) renk dilimlemesi.	47
Şekil 4. 9	Kampüs test alanına ait Benzemezlik doku parametresinden elde edilen ilk bina izdüşüm alanları.	48
Şekil 4. 10	Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.	49
Şekil 4. 11	Zikzaklı taban alanları (a ve c) ve basitleştirme işlemi sonucunda elde edilen alanlar (b ve d).	49
Şekil 4. 12	Envi LiDAR yazılımı ile üretilen kampüs test alanına ait bina izdüşüm alanları.	50
Şekil 4. 13	Önerilen yöntem ve Envi LiDAR yazılımının karşılaştırması.	51
Şekil 4. 14	Kampüs test alanına ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	51
Şekil 4. 15	İstanbul test alanına ait hava fotoğrafı.	54
Şekil 4. 16	İstanbul test alanına ait ham nokta bulutunun üstten (a) ve yandan (b) görünüşü.	54
Şekil 4. 17	İstanbul test alanına ait yer (a)ve obje (b) noktaları.	55
Şekil 4. 18	İstanbul test alanına ait YM.	55
Şekil 4. 19	İstanbul test alanına SAM.....	56
Şekil 4. 20	İstanbul test alanına ait nYM.	56
Şekil 4. 21	İstanbul test alanına ait Benzemezlik doku parametresi.	57
Şekil 4. 22	Morfolojik işlemlerden önce (a) ve sonra (b) nYM.	57
Şekil 4. 23	Morfolojik işlemlerden sonra üretilmiş Benzemezlik doku parametresi.	58
Şekil 4. 24	Morfolojik işlemlerden önce üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.	58

Şekil 4. 25 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.	59
Şekil 4. 26 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.	60
Şekil 4. 27 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.	60
Şekil 4. 28 İstanbul test alanına ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	61
Şekil 4. 29 İstanbul test alanına ait doğruluk hesaplamasında izlenen yöntem.	62
Şekil 4. 30 Bergama test alanına ait Google Earth görüntüsü.	63
Şekil 4. 31 Bergama test alanına ait ham LiDAR nokta bulutunun üstten (a) ve yandan (b) görünüşü.	64
Şekil 4. 32 Bergama test alanına Nadir uçuşa ait gerçek renkli (a) ve yüksekliğe göre renklendirilmiş (b) ham nokta bulutu.	65
Şekil 4. 33 Bergama test alanına ait Eğik uçuşa ait gerçek renkli ve yüksekliğe göre renklendirilmiş ham nokta bulutu.	65
Şekil 4. 34 Bergama test alanına ait Nadir ve Eğik nokta bulutlarının LiDAR nokta bulutuna uzaklıkları (m).	66
Şekil 4. 35 Bağdaştırma işlemi sonucunda elde edilen (A) Nadir ve (B) Eğik nokta bulutlarına ait KOH ve dönüşüm matrisleri.	67
Şekil 4. 36 Bergama-LiDAR verisine ait yer (a) ve obje (b) noktaları.	68
Şekil 4. 37 Bergama-LiDAR verisine ait YM.	68
Şekil 4. 38 Bergama-LiDAR verisine ait SAM.	69
Şekil 4. 39 Bergama-LiDAR verisine ait nYM.	69
Şekil 4. 40 Morfolojik işlemlerden önce (a) ve sonra (b) nYM.	70
Şekil 4. 41 Bergama LiDAR verisine için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlilik doku parametresi.	70

Şekil 4. 42 Morfolojik işlemlerden önce üretilen Bergama-LiDAR verisine ait bina izdüşüm alanları.	71
Şekil 4. 43 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama-LiDAR verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.	72
Şekil 4. 44 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.	73
Şekil 4. 45 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama-LiDAR verisine ait bina izdüşüm alanları.	73
Şekil 4. 46 Bergama-LiDAR verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	74
Şekil 4. 47 Bergama-Nadir uçuş verisine ait yer (a) ve obje (b) noktaları.	75
Şekil 4. 48 Bergama-Nadir uçuş verisine ait YM.	76
Şekil 4. 49 Bergama-Nadir uçuş verisine ait SAM.	76
Şekil 4. 50 Bergama-Nadir uçuş verisine ait nYM.	77
Şekil 4. 51 Bergama Nadir verisi için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlik doku parametresi.	77
Şekil 4. 52 Morfolojik işlemlerden önce üretilen Bergama-Nadir uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.	78
Şekil 4. 53 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama- Nadir uçuş verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.	79
Şekil 4. 54 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.	79
Şekil 4. 55 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama-Nadir uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.	80
Şekil 4. 56 Bergama-Nadir uçuş verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	81
Şekil 4. 57 Bergama-Eğik uçuş verisine ait yer ve obje noktaları.	82
Şekil 4. 58 Bergama-Eğik uçuş verisine ait YM.	83
Şekil 4. 59 Bergama-Eğik uçuş verisine ait SAM.	83

Şekil 4. 60 Bergama-Eğik uçuş verisine ait nYM.	84
Şekil 4. 61 Bergama Eğik verisi için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlilik doku parametresi.	84
Şekil 4. 62 Morfolojik işlemlerden önce üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.	85
Şekil 4. 63 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.	85
Şekil 4. 64 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.	86
Şekil 4. 65 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.	86
Şekil 4. 66 Bergama- Eğik uçuş verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	87
Şekil 4. 67 Vaihingen test alanına ait LiDAR nokta bulutu (a) ve ortofoto üzerinde gösterilen üç alt bölge (b).	90
Şekil 4. 68 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait bina izdüşüm alanları.	91
Şekil 4. 69 Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait nYM'ler.	91
Şekil 4. 70 Vaihingen test alanındaki detay örnekleri.	92
Şekil 4. 71 Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.	92
Şekil 4. 72 Altlık olarak alınan 2015 yılı Ortofotosunda 2017 yılı Nadir uçuş ile tespit edilen bina izdüşüm alanlarının gösterimi.	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1 Tez kapsamında seçilen test alanları ve bu alanlara ait veri setleri	39
Çizelge 4. 2 Çalışma kapsamındaki lazer tarayıcıların teknik özellikler.....	39
Çizelge 4. 3 Kullanılan İHA ve kameraya ait bilgiler.	40
Çizelge 4. 4 Kullanılan ham ve filtrelenmiş nokta bulutu veri setlerine ilişkin temel bilgiler.	41
Çizelge 4. 5 Verilere ait çözünürlük değerleri.	42
Çizelge 4. 6 Kampüs test alanına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	52
Çizelge 4. 7 Kampüs alanına ait SAM için hesaplanan KOH (m).	53
Çizelge 4. 8 İstanbul test alanına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	62
Çizelge 4. 9 Nadir ve Eğik uçuşlara ait bilgiler.	66
Çizelge 4. 10 Bergama-LiDAR verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	75
Çizelge 4. 11 Bergama-Nadir uçuş verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	81
Çizelge 4. 12 Bergama-Eğik uçuş verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	87
Çizelge 4. 13 Bergama bölgesinin YM'leri arasındaki korelasyon katsayıları.	88
Çizelge 4. 14 Bergama bölgesinin SAM'larına ait KOH'lar (m).	89
Çizelge 4. 15 Vaihingen test alanına ait referans, bulunan ve bulunamayan bina sayıları.	93
Çizelge 4. 16 Vaihingen test alanı ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	93
Çizelge 4. 17 Tüm test alanlarına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).	95
Çizelge 4. 18 Vaihingen test alanına ait en düşük ve en yüksek Kalite değeri ve tezde elde edilen değerler (%).	97

1. GİRİŞ

Son yıllarda veri toplama ve veri işleme yöntemlerinde yaşanan gelişmeler, konumsal verilerin kullanım amacını da değiştirmiştir. Konumsal verilerin değerlendirilmesinde veri toplama kapasitesi arttıkça, verilerin işlenmesinde ihtiyaç duyulan otomasyon gereksinimi de artmaktadır. Bu durum savunmadan robot teknolojilerine, haritacılıktan ulaşım kadar birçok konuyu etkilemektedir. Şehirler için ise mevcut haritaların güncellenmesi, yeniden harita üretimi, kaçak yapı izlenmesi ya da şehirlerde meydana gelen diğer değişimlerin tespiti konularında, bu verilerin işlenmesi önem arz etmektedir.

Günümüzde çok yoğun olarak üretilen konumsal verinin haritacılık disiplini içerisinde de hem üretim hem de kullanım anlamında çok önemli bir yeri vardır. Üretilen konumsal veriler, haritalar gibi konumsal bilgi içeren ve farklı amaçlara yönelik hazırlanan ürünlere dönüşmektedir. Konumsal veriden bilgiye dönüşüm işlemi süreklilik gerektiren bir durumdur. Yani üretilen haritaların sürekli güncellenme ihtiyacı vardır. Çünkü konumsal bilginin elde edildiği çevre sürekli bir değişim içindedir. Özellikle şehirler söz konusu olduğunda bu değişim daha açık görülmektedir. Zaten şehirler karakter olarak durağan değil, dinamik bir yapıya sahiptirler. Birleşmiş Milletler (BM) raporlarına göre günümüzde insanların % 50' den fazlası şehirlerde yaşamakta ve bu oranın 2030 yılında % 70' e ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN-HABITAT 2012). Dünya nüfusunun 7 milyarı aştığı düşünüldüğünde, şehirlerin insan hayatında ve doğal yaşam içerisinde ne derece bir öneme sahip olduğu anlaşılabilir. Yeni yerleşim yerlerinin kurulması, eski yerleşimlerin yıkılması, yeni ulaşım ve enerji nakil hatları, altyapı çalışmaları, doğal afetlerin bıraktığı hasarlar gibi birçok etki şehirlerin yapısını değiştirmektedir. Bu nedenle haritalar sürekli bir güncelleme işlemine gereksinim duymaktadır.

Şehrin en temel unsurları binalar, yollar, yeşil alanlar ve su alanlarıdır. Yapılan bir anket çalışmasında, katılımcıların %95' i bir şehirdeki en önemli objenin bina olduğunu belirtmiştir (Fuchs 1998). Özellikle şehre ait yapılar içinde binalar temel objeler olarak kabul edildiği ve bahsedilen bu dört temel unsurdan en fazla değişeni binalar olduğu için araştırmalar daha çok bina tespiti, çatı modelleme ve 3B bina/şehir modeli üretme

gibi bina odaklı olarak yoğunlaşmaktadır. Yani güncelleme işlemleri için öncelikle binaların doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Şehir yapılarına ait 3B konumsal verinin üretilmesi ve sayısal ortamda gerekli veri formatlarında kullanılır hale getirilmesi birçok uygulama için gereklidir. Günümüzde şehirlere ait konumsal verilerin üretilmesi ve bu verilerden gerekli bilgilerin çıkarımı için yapılan çalışmalar fotogrametri, uzaktan algılama, bilgisayarlı görüş (computer vision) ve bilgisayar destekli çizim teknoloji ve yazılımlarını birlikte kullanmaktadır. Ayrıca Avrupa Mekânsal Veri Araştırmaları Örgütü (EuroSDR) ve Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS) gibi bilimsel kuruluşlar bu konuda yapılan çalışmalara destek amacıyla ücretsiz veri sağlamakta, eğitim kursları ve akademik toplantılar düzenlemekte ve yapılan çalışma sonuçlarını ilan etmektedir.

Binaların tespiti çalışmalarında amaç, binaların veri setinden yüksek doğruluk ve otomasyonla belirlenmesidir. Bina tespit yaklaşımı, kullanılan veri setine göre değişiklik göstermektedir. Bu alandaki öncül çalışmalara ait detaylar (Baltsavias 2004, Gruen *et al.* 1995, Kaartinen *et al.* 2005, Khoshelham *et al.* 2010; Mayer 1999) çalışmalarında bulunabilir. İlk çalışmalar büyük oranda görüntü verileriyle yapılmıştır. Genelde hava fotoğrafları ya da uydu görüntülerinden bina tespiti üzerine yoğunlaşmaktadır (Lin *et al.* 1994, Nevatia *et al.* 1997, Shufelt and Mckeown 1993, Zhang 1999). Zaman içinde bindirmeli hava fotoğrafları kullanılmaya başlanmıştır (Fradkin *et al.* 2001, Müller and Zaum 2005). Sayısal yüzey modellerinin yaygınlaşmasıyla yükseklik bilgileri de bu çalışmalarda yerini almıştır (Forlani *et al.* 2006).

Bir uzaktan algılama sistemi olarak lazer tarama sistemlerin ve özellikle Light Detection and Ranging (LiDAR) sisteminin üretimi ve yaygınlaşmasıyla bina tespit çalışmaları, görüntü verilerinden nokta verilere kaymaya başlamıştır (Awrangjeb *et al.* 2010; Verma *et al.* 2006, Vu *et al.* 2009). LiDAR sistemi, günümüzde farklı amaçlar için kullanılmasına rağmen aslında 1960'ların sonlarında geliştirilen bir sistemdir. İlk kez 1993 yılında haritacılık kapsamında topografik harita üretimi için kullanılmıştır (Liadsky 2007). Temel olarak lazer tarayıcı, küresel konumlama sistemi (GPS) ve atalet

ölçü biriminin (IMU) birleştirilmesiyle oluşturulan bir sistemdir. Ölçme yaklaşımı ise gönderilen bir lazer ışığının tarayıcıdan çıkışı ile algılayıcıya geri dönüşü arasındaki süreyi, cisim ve tarayıcı arasındaki mesafeyi hesaplamada kullanmasına dayanmaktadır (Meng *et al.* 2010). Bu sistem sayesinde milyonca referanslı nokta elde edilebilmektedir. Yersel mobil lazer tarayıcılar bina tespitinde kısmen kullanılmakla birlikte, 3B bina modellemelerinde daha yaygın bir kullanıma sahiptir.

2007' den sonra fotogrametrik bir yaklaşım olarak eğik hava fotoğrafları da bina tespiti çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır (Khoshelham *et al.* 2010). Bina tespitinde ve özellikle modellemede ciddi katkı sağlayan bu veri seti, bilgisayarlı görüş algoritmalarıyla birlikte yeni bir dönemi başlatmıştır. Özellikle görüntü tabanlı çalışan ve Çoklu Stereo Görüntü Algoritması (MVS) ya da Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) ile LiDAR verisinden daha yoğun nokta bulutları elde edilmiştir. Her ne kadar bu yöntem nokta bulutu üretmede lazer tarayıcılara rakip olarak gösterilse de hala aktif bir araştırma alanıdır. Özet olarak, bina tespit çalışmalarında temelde görüntü tabanlı ve lazer tarayıcı tabanlı nokta bulutu olmak üzere iki veri tipi ayrı ayrı ya da birlikte kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, LiDAR ve görüntü tabanlı nokta bulutu verilerini temel girdi olarak kullanıp binaları tespit etmektir. Bu kapsamda uygulama için Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü, İstanbul-Yeni Bosna, İzmir-Bergama ve Almanya-Vaihingen olmak üzere 4 farklı test bölgesi seçilmiştir. ANS kampüsü düşük yoğunluklu bitki örtüsüne, düşük eğimli bir topografyaya ve farklı şekil ve yüksekliğe sahip binalara mevcuttur. İstanbul bölgesi yoğun yapılaşmanın olduğu bir bölgedir. Bergama bölgesinde daha çok yerleşim yerlerindeki bahçelerde bulunan ağaçlar ve benzer yükseklik ve şekle sahip binaların oluşturduğu siteler bulunmaktadır. Vaihingen test alanı ise 3 alt bölgeye ayrılmıştır. 1.bölge, Vaihingen şehir merkezinde tarihi binaların ve ağaçların olduğu bir alan, 2.bölge, ağaçlarla çevrili yüksek katlı binaların olduğu bir bölge, 3.bölge, daha çok ağaçlık ve bağımsız alçak binaların olduğu bir bölgedir. Test alanlarına ait veri setleri LiDAR nokta bulutu veya İHA'lerden elde edilmiş görüntülerle üretilmiş görüntü tabanlı nokta bulutlarından oluşmaktadır. Farklı kaynaklardan üretilen nokta bulutları, girdi veri olarak kullanılıp 4 test alanında da

Sayısal Yüzey Modeli (YM) Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve normalleştirilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nYM) elde edilmiştir.

Çalışma bölgelerinde bazı ağaçların binalara çok yakın olması ve bazı binaların birbirine çok yakın olması, binaların bağımsız sınırlar şeklinde ayrımını güçleştirmektedir. Bu sebeple bir görüntü işleme yaklaşımı olan aşınma matematiksel morfoloji algoritması kullanılarak, binaların diğer objelerden ayrımı ve ağaçların kısmen filtrelenmesi sağlanmıştır. Yükseklik modellerinden binaların oluşturduğu dokuları elde edebilmek için Gri Seviye Eş Oluşum Matrisleri (GSEM) oluşturulmuştur. GSEM ile piksel komşuluklarının yükseklik modellerindeki mekânsal dağılımları elde edilmiştir. Bu dağılım kullanılarak Haralick doku parametreleri üretilmiş ve her test adına ait yükseklik modelinde binaların oluşturduğu farklı dokular elde edilmiştir. Bu doku parametrelerinden biri olan Benzemezlik doku parametresi kullanılarak binalar tespit edilmiştir. Üretilen doku görüntülerinde tespit edilmiş binaların izdüşüm alanlarını vektör formatta elde etmek için renk bölütleme kullanılmıştır. Elde edilen izdüşüm alanları piksellerden vektör formata dönüştürüldüğü için çok zikzaklı bir yapıya sahiptir. Bu sebeple bu alanları daha düzenli poligonlar haline getirmek için Douglas-Peucker basitleştirme yöntemi uygulanmış ve sonuç bina izdüşüm alanları oluşturulmuştur.

Çalışmanın görsel analizi, üretilen izdüşüm alanları ile bu alanlara ait referans bina taban alanları verisinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Ayrıca sayısal sonuçlar elde etmek için de tüm test alanlarında üretilen bina alanları ile referans bina alanlarında Üretici ve Kullanıcı doğruluğu ile Kalite parametreleri hesaplanmıştır. Vaihingen test alanına ait veriler ISPRS dördüncü çalışma grubu test verisi olduğu için Dünya genelinde 20'nin üzerinde araştırmacı da bu alanda çalışmış ve sonuçlarını paylaşmışlardır. Benzer şekilde tez kapsamında Vaihingen test verisine ait elde edilen doğruluk sonuçları bu test verisi üzerinde çalışan araştırmacıların sonuçlarıyla beraber, tablo olarak tezin ekler kısmında sunulmuştur.

Sonuç olarak bilimsel literatürde farklı amaçlarla kullanılan Benzemezlik doku parametresi bina tespiti amacıyla temel yaklaşım olarak belirlenmiş ve bu konuda

başarılı olduğu görülmüştür. Morfolojik Aşınma operatörü ile bitkilerin filtrelenmesinde yardımcı olacak başka bir veriye ihtiyaç duymadan ağaçlar büyük bir oranda temizlenmiş ve binalardan ayrımı sağlanmıştır. İzlenen yöntem değişik bitki yoğunluğunun, bina dağılımının ve bina tiplerinin olduğu farklı alanlarda test edilmiş ve birbiriyle tutarlı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca Bergama test alanında LiDAR nokta bulutunun ve görüntü tabanlı nokta bulutları kullanılarak, farklı kaynaklardan elde edilmiş nokta bulutu verilerinde uygulanan yöntemin başarılı olduğu gözlenmiştir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bina tespiti, önemi sebebiyle birçok araştırmacının üzerinde durduğu bir konudur ve literatürde birçok bina tespiti çalışması mevcuttur. Bina tespiti, kullanılan veri setinde objelerin sınıflandırılması veya etiketlenmesi anlamına geldiği gibi bu sınıfların kapladığı alanlarının çıkarılması da olabilmektedir. Doğal olarak sadece bina için değil ağaç ya da su gibi sınıflandırması yapılabilen diğer objeleri de içeren çalışmalar, sınıflandırma ve taban alanlarının çıkarımı işlemini içermektedir. Fakat tez çalışmasının literatür araştırmasında bina tespiti konusunda yapılan çalışmalara odaklanılmıştır.

Bina tespiti konusunda yapılan çalışmalarda farklı veri setleri ve yöntemler kullanılarak farklı doğruluk derecelerinde bina tespiti yapılabilmektedir. Bu çalışmaların yöntemlere göre sınıflandırılması verimli olmayacağından kullanılan veri setlerine göre bir ayrım yapılmıştır. Her ne kadar literatürdeki çalışmalarda veri seti olarak daha çok görüntü tabanlı veriler veya nokta bulutundan görüntüye çevrilmiş yükseklik modelleri kullanılmış olsa da bu çalışmaları kullanılan veri setine göre sadece görüntü tabanlı veriler, sadece nokta bulutu kullananlar ve her ikisini de kullanan çalışmalar olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür.

2.1 Görüntü Tabanlı Çalışmalar

Görüntü tabanlı çalışmalarda kullanılan verilerin çok azı yersel fotoğraflar olmakla birlikte, daha çok uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarından oluşmaktadır. Yersel fotoğraflar, genelde yardımcı veri olarak veya bina modellemede kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri tek veya stereo görüntüler olabilir. Hava fotoğrafları ise insanlı ve insansız hava araçlarıyla elde edilmiş Kırmızı Yeşil Mavi (KYM) bantlı ve Kırmızı Yeşil Mavi – Kızıl Ötesi (KYM-KÖ) bantlar içeren görüntüler olabilmektedir. Son yıllarda özellikle insansız hava araçları, sağladığı avantajlar sayesinde farklı amaçlara yönelik birçok çalışmada kullanıldığı görülmektedir. Bina tespiti çalışmalarında farklı zamanlarda çekilmiş görüntü verileri arasında değişim analizi yapılmakla beraber, görüntü sınıflandırma teknikleri de yoğun olarak kullanılmaktadır.

Görüntü tabanlı verilerin kullanımı, bir çift bindirmeli görüntüden stereo model ve derinlik haritası oluşturularak binaların tespit edilmeye çalışılmasıyla başlamıştır

(Davidson 2000). Bindirmeli görüntüler dışında tek bir yoğunluk (Intensity) görüntüsünde bina tespit çalışması da yapılmıştır (Lin *et al.* 1994). Bu yaklaşım, 3B geometrik bilgi çıkarımında stereo yaklaşımdan geri kalmıştır. Yine bu konudaki ilk çalışmalarda monoküler uydu ya da hava fotoğrafları kullanılmıştır (Huertas *et al.* 1993, Lin *et al.* 1994, Nevatia *et al.* 1997, Shufelt and Mckeown 1993). Monoküler veri kullanılan çalışmalarda, bitki varlığı ve karmaşık binalar ciddi problem oluşturmuştur. Çünkü radyometrik ve mekânsal çözünürlüğü yeterli olmayan tek bir görüntü karesi kullanılmaktadır. Zaman içinde veri setleri genişletilerek bindirmeli görüntüler kullanılmaya başlanmıştır. Weidner ve Förstner (1995), yükseklik modellerinde morfolojik operatörler yardımıyla bina ve yer yüzeyi ayrımı konusunda çalışmıştır. Fradkin vd. (2001), bindirmeli görüntüler ile elde ettiği yüzey modelinden bina çatılarına ait yüzeyleri tespit etmeye çalışmıştır. Benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada, model kütüphaneleri kullanılarak yükseklik modellerinde binalar tespit edilmeye çalışılmıştır (Fischer *et al.* 1998). Bindirmeli görüntülerle beraber yükseklik bilgisi de kullanılmaya başlanmıştır. Brunn ve Weidner (1997), YM’de ağaç ve binaları tespit etmiştir. Ayrıca YM’de Bayes istatistiği kullanarak binaları tespit etmiş ve monoküler veri kullanan çalışmalarla karşılaştırmıştır.

Çok bantlı (Multi Spektral) veriler de bina tespitinde kullanılmıştır. Farklı dalga boylarındaki görüntülerle beraber bitki, su, bina ve benzeri obje sınıfları için spektral indeksler üretilerek bu objelere ait birçok sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çok bantlı veriler genelde obje ya da piksel tabanlı sınıflandırmada kullanılmıştır. Fakat piksel tabanlı çalışmalar sadece spektral bilgi kullanıldığı için daha azdır. Objeye tabanlı sınıflandırmada spektral bilginin yanı sıra şekil, doku ve eğim gibi yardımcı veriler de kullanılabilir. Nesne ve piksel tabanlı sınıflandırmayı karşılaştıran çalışmalar da nesne tabanlı sınıflandırmanın daha başarılı olduğu ifade edilmiştir (Matinfar *et al.* 2007, Rittl *et al.* 2013, Whiteside and Ahmad 2005). Zaman içinde bilgisayarlı görüş ve görüntü işleme tekniklerinde ciddi gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerle beraber istatistik ve derin öğrenme teknikleri de kullanılmaya başlanmıştır. Walter (2004), en büyük benzerlik (Maximum Likelihood) sınıflandırması metodunu kullanarak çok bantlı görüntülerde bina ve diğer objeleri sınıflandırmıştır. Jabari ve Zhang (2013), bulanık mantık (Fuzzy Logic) kullanarak bina ve yol gibi birçok objeyi sınıflandırmıştır. Benzer

şekilde Singh ve Garg (2013) Bulanık kümeleme (Fuzzy Clustering) yaklaşımı ile bina ve diğer objeleri sınıflamıştır. Sun vd. (2015), düzenli şekil benzerlik indeksi (Regular Shape Similarity Index - RSSI) adında bir indeks üreterek bina ve yollar gibi objeleri tespit etmiştir. Dornaika vd. (2016), hava fotoğraflarından üretilmiş ortofotoda makine öğrenimi ile kontrollü sınıflandırma ve segmentasyon ile binaları tespit etmiştir. Ok (2013), yüksek çözünürlüklü GeoEye-1 uydu görüntüsünde bitki alanları NDVI ile mask edildikten sonra güneş açısı gibi yardımcı bilgiler ile gölge tespiti yapmış ve bunlardan binaları tespit etmiştir. Benzer bir şekilde, Manno-Kovács ve Ok (2015), gölge tespitinde bazı iyileştirmeler yapmış ve aynı yöntemi QuickBird ve IKONOS-2 uydu görüntülerine uygulayarak binaları tespit etmişlerdir. Diğer bazı çalışmalarda farklı zamanlara ait YM veya optik görüntüler kullanılarak değişim analizleri yapılmış ve yeni yapılan veya yıkılan binalar tespit edilmiştir (Jung 2004, Nakagawa and Shibasaki 2008, Vu *et al.* 2004). Holland vd. (2008), toplamda 48 km²'lik iki farklı test alanında pankromatik ve çok bantlı hava fotoğrafları kullanarak piksel ve obje tabanlı sınıflandırma ile binaları tespit etmiş ve bunları kadastral haritalar ile karşılaştırmıştır.

İHA'lar ile yapılan çalışmalar çoğunlukla bina modellemeye yönelik olsa da bina tespiti ile ilgili de bazı çalışmalar mevcuttur. İHA kullanılan bazı çalışmalarda doğrudan İHA ile üretilen ortofotolardan bina taban alanları el ile çizilmiştir (Mumbone *et al.* 2015, Volkmann and Barnes 2014). Diğer bir çalışmada Manyoky vd. (2012), İHA ile üretilen ortofotodan taban alanlarını el ile çizmiş ve örnek olarak birkaç binayı modellemiştir. Gao vd. (2017), yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleri ile üretilen ortofotodan binaları el ile çizmiş ve uygun stereo görüntülerle bu alanları düzeltmiştir. Vacca vd. (2017), farklı yazılımlarda YM üreterek bina konum doğrulukları karşılaştırmıştır. Fan vd. (2017), İHA ile üretilen ortofoto ile YM'yi birleştirdikten sonra bina ve diğer objeleri kontrollü olarak sınıflamıştır. Gevaert vd. (2017), güncel olmayan haritaları, güncel ortofotodan imza toplamak için kullanmış ve ortofotoyu kontrollü olarak sınıflamıştır. Dai vd. (2017), görünür bölge bantlı ortofotodan görünür bölge bitki indeksi ile bitkileri bulmuş ve İHA nokta bulutundan bitkilere ait noktaları çıkarmıştır. Daha sonra morfolojik filtre ile bina ve yer noktalarını ayırarak binalara ait noktaları elde etmiş ve bunlardan doğrultu takip (Line Trace) algoritması ile taban alanlarını çıkarmıştır. Comert vd. (2016), İHA ile üretilen ortofoto ve YM kullanarak nesne tabanlı kontrollü

sınıflandırma ile binalar ve yeşil alanlar gibi diğer objeleri tespit etmiştir.

2.2 Nokta Bulutu Tabanlı Çalışmalar

Ticari şirketlerin değişik özelliklerde lazer tarama sistemleri üretmesi, LiDAR verisinin ulaşılabilirliğini ve kullanım oranını arttırmıştır. Doğrudan LiDAR verisinin sınıflandırılması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Fakat bunların büyük kısmı daha çok Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretimini amaçlayan ve bunun için LiDAR verisinin sadece yer noktalarını kullanan çalışmalardır. Bu tarz çalışmalar, büyük çoğunlukla filtreleme çalışması olarak bilinmektedirler. Bazı çalışmalar ise LiDAR verisindeki yer noktalarının yanında bina ve ağaç gibi obje noktalarını da sınıflamaktadır. Bu bölümde nokta bulutunda sadece bina tespiti yapan çalışmalardan bahsedilmektedir.

LiDAR verisinden bina tespiti yapılan çalışmalar, ya doğrudan nokta bulutunu kullanmakta ya da nokta bulutunu yükseklik modeline çevirerek görüntü tabanlı kullanmaktadır. Çünkü görüntü ile çalışmak LiDAR ile çalışmaya göre daha az zaman almakta ve bina ve benzeri doğrusalık içeren objeler için daha avantajlıdır (*Vu et al.* 2004). Ayrıca nokta bulutları yükseklik bilgisi içermesine rağmen düzenli bir dağılımı olmadığı için objelerin taban geometrilerini görüntüler kadar iyi verememektedir (*Jarzabek-Rychard* 2012). Çok az sayıda çalışmada LiDAR yoğunluk değeri de kullanılmaktadır. Doğrudan nokta bulutu kullanılan çalışmalarda daha çok kümelenme, yoğunluk, düzlem eğimi, yükseklik ve topoloji gibi ortak özellikleri temel alan kural tanımlamaya dayalı nokta sınıflandırması yapılmaktadır. Yine kural temelli karar ağaçları (decision tree) ya da makine öğrenimi (machine learning) yöntemleri de doğrudan nokta bulutuna uygulanmıştır. LiDAR YM kullanan çalışmalarda da benzer şekilde eğim ve yükseklik kısıtlaması gibi kurallar tanımlanarak sınıflama yapılmıştır. Ayrıca görüntü işlemede kullanılan morfolojik operatörler ile kontrollü sınıflandırma yöntemleri de bazı çalışmalarda uygulanmıştır.

Song vd. (2002), LiDAR yoğunluk değerlerine göre noktaları sınıflandırmaya çalışmıştır. Yoğunluk kullanan diğer bir çalışmada ise Uzar Dinlemek (2012) sadece LiDAR'dan elde edilen YM ve yoğunluk verisini kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yapmış ve binaları tespit etmiştir.

Alharthy ve Bethel (2002), LiDAR verisinin ilk ve son dönüş farklarıyla objelere ait noktaları ayırmıştır. Verma vd. (2006), LiDAR noktalarının komşuluk ilişkilerini kullanarak düzlemsellik değeri üretmiş ve bu şekilde objeleri sınıflamıştır. Forlani vd. (2006), bina, yer ve bitki çıkarımı için LiDAR nokta bulutunda topolojik kural tanımlı sınıflandırma yapmış ve binaların çok yüzlü modellerini oluşturmuştur. Filin ve Pfeifer (2006), nokta bazlı sınıflama yerine nokta bulutunu, benzer özellik gösteren kısımlarını toplayarak kısımlara ayırmış ve daha sonra sınıflamıştır. Zingaretti ve Frontoni (2007), LiDAR nokta bulutu sınıflandırması için kural tanımlamıştır. Zhou ve Neumann (2008), noktaların dağılımlarını analiz etmiş ve kümelenmelerine göre sınıflamıştır. Lafarge ve Mallet (2012), her bir noktaya ait yükseklik değerini kullanarak noktaları sınıflara ayırmıştır. Zhang vd. (2013), LiDAR nokta bulutunda düzlem oluşturabilen nokta kümeleri ile binaları tespit ederek sınıflama yapmıştır. Huang ve Sester (2012), LiDAR verisinde Hough transformasyonu ile bina noktalarını belirlemiş ve bu noktalardan istatistiksel olarak en uygun noktaları seçerek bina taban alanlarını çıkarmıştır. Sampath ve Shan (2007), LiDAR verisini kullanarak üç adımda taban alanlarına ulaşmıştır: **i)** bina ve bina olmayan noktaların yükseklik eşik kısıtlamasıyla tespiti, **ii)** bina noktalarını, ait oldukları binalara göre sınıflama ve **iii)** her binanın taban alanı için nokta/iz takip algoritmasının kullanılması. Zhang vd. (2006), LiDAR verisini morfolojik filtre ile yer ve obje olarak ayırdıktan sonra obje noktalarını düzlem oluşturabilmelerine göre bina ve diğer objeler olarak ayırmış ve ardından taban alanını çıkarmıştır. Mongus vd. (2014), morfolojik kesitler ile obje noktalarını belirlemiş ve bu obje noktalarında bölgesel olarak düzlem tespitiyle binaları bulmuştur.

Bazı kural temelli karar ağaçları ya da makine öğrenimi yöntemleri de bina tespiti amacıyla kullanılmıştır. Bu tarz sınıflandırmalarında sadece her bir noktaya ait geometrik ve normal vektörü, komşuluk ya da pürüzlülük gibi bazı istatistik değerler kullanıldığı için bina, köprü ve ağaç benzeri karmaşık objelerde ciddi problemler oluşmakla beraber iyi sonuçlar da alınmaktadır. Chehata vd. (2009), rastgele orman, Shapovalov vd. (2010), k-Ortalama kümelenmesi ve Zhan ve Yu (2011), destek vektör makinaları (SVM) kullanarak sınıflandırma yapmıştır. Zhou ve Neumann (2008), sınıflandırmadan sonra bir komşuluk araştırması yapmıştır: Buna göre bina olarak sınıflanacak bir noktanın tanımlanmış bir yarıçap içerisinde komşularının belirli bir

yüzdesi de bina olarak sınıflanmış ise o nokta da bina olarak sınıflanabilir. Diğer bir çalışmada Xu vd. (2014), nokta bulutuna ait düzlemsellik gibi özellikleri hesaplayarak önce yer noktalarını tespit etmiş daha sonra da yer üstü objeleri sınıflamıştır. Albers vd. (2016), nokta bulutlarını sınıflandırdıktan sonra binalara ait taban alanlarını enerji minimizasyonu ile belirlemiştir.

Mongus vd. (2013), çok ölçekli yükseklik bölümlemesi (MSLS) ile obje noktalarını belirlemiş ve düzlem morfolojisi ile binaları ayırmıştır. Liu vd. (2012), LiDAR YM'den elde ettiği homojenlik dokusunu LEGION kısaltmasıyla adlandırdığı kontrollü sınıflandırması için örnek bina alanı olarak vermiş ve YM'yi sınıflandırarak binaları tespit etmiştir.

Demir (2013), ham LiDAR veri setinin önceden tanımladığı bir grid ile yoğunluğunu hesaplayarak düşük yoğunlukta çıkan bölgeleri bina ve ağaç gibi obje noktası olarak kabul etmiştir. Daha sonra bitki indeksinden elde ettiği bitki alanlarındaki obje noktalarını eleyerek sadece binalara ait noktaları tespit etmiştir. Demir (2015) ise öncelikle veri yoğunluğu ile objelere ait LiDAR noktaları tespit edilmiştir. Daha sonra: **i)** ağaçlara ait LiDAR noktalarından pürüzsüz bir düzlem olamayacağı, **ii)** düşey doğrultuda ağaçların daha yoğun olduğu ve **iii)** çalışma bölgesine göre minimum ağaç boyunun 3 m olacağı var sayımları ile bina ve ağaçları belirlemiştir.

Vosselman (2000), LiDAR'dan üretilen YM'de binaları tespit etmiş ve eğim değerlerini kullanarak binaları modellemeye çalışmıştır. Yine benzer şekilde Forlani vd. (2006), LiDAR'dan elde edilmiş YM'de bina tespiti ve çatı modellemesi yapmıştır. Maas ve Vosselman (1999) LiDAR'dan üretilen yükseklik modelinde morfolojik filtreleme ve Bayes sınıflandırması ile bina ve ağaçları sınıflamıştır. Jarzabek-Rychard (2012) bina konumlarını kadastrodan alarak o konumlardaki binaları LiDAR YM de belirlemiştir. Bu belirlenen bina konumlarına RANdom SAMple Consensus (RANSAC) uygulayarak doğru parçaları elde etmiş ve bunları düzenleyerek bina taban alanlarını üretmiştir. Morgan ve Tempfli (2000), LiDAR SAM'ı morfolojik operatörlerle yer ve obje diye ayırmış ve objelerde de bina çatılarını düzlem bulma yöntemi ile diğer objelerden ayırmıştır. Elberink ve Maas (2000), LiDAR YM'den Kontrast doku parametresini

üretmek için ağaç ve binaları sınıflamıştır. Tóvári ve Vögtle (2004), LiDAR nYM'ye Laplace operatörü uyguladıktan sonra bulanık mantık ve en büyük benzerlik sınıflandırmalarını kullanarak binaları sınıflamıştır. Ma (2005) LiDAR nYM ürettiikten sonra morfolojik operatörler ile nYM'yi kısmen temizlemiştir. Daha sonra 3 m yükseklik eşiği belirleyerek bunun üzerinde kalan objeleri bina olarak sınıflamıştır. Miliareisis ve Kokkas (2007), LiDAR YM'de yükseklik ve eğim hesaplamış ve bunları kullanarak binaları sınıflamıştır. Meng vd. (2008), eğim temelli bir filtre ile obje noktalarını elde etmiş ve sadece bunları kullanarak ürettiği bir yükseklik modeline morfolojik işlemler uygulayarak binaları tespit etmiştir. Lafarge vd. (2008), YM'de kullanıcı kararlı olarak yaklaşık belirlenen bina taban alanlarını öncül taban alanı olarak kullanıp LiDAR noktaları ile bu taban alanını yakınlık eşik değeri ile yeniden düzenleyip sonuç taban alanlarını üretmiştir.

2.3 Nokta Bulutu ve Görüntü Verilerinin Beraber Kullanımı

Lidar verisi, doğası gereği görüntü verileri kadar spektral bilgi içermemektedir. Bu sebeple bazı çalışmalarda LiDAR nokta bulutuyla beraber görüntü verileri de kullanılmaktadır. Bu veri setleri genelde çok bantlı uydu verisi olmakla beraber görünür bantlı kızıl ötesi bantlı ortofoto da olabilmektedir. Çok bantlı veri kullanılan çalışmalarda, çoğunlukla Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) ile bitkiler (özellikle ağaçlar) belirlenerek bu alanların veriden temizlenmesi yapılmaktadır. Bu şekilde yerden yüksek olan objelerin çoğunu oluşturan bitki ve binaların birbirine karışması engellenmektedir. Ortofoto kullanılan çalışmalar çoğunlukla sınıflandırma yapılarak bina tespit oranı iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Sohn ve Dowman (2007), LiDAR yükseklik bilgisi ile IKONOS verisinden elde ettikleri bitki indeksini birleştirerek bitkileri elemiş ve birleştirilmiş görüntüde minimum uzunlukta çizgisellik tanımlayarak binaları belirlemiş ve taban alanlarını üretmiştir. Vogtle ve Steinle (2000), LiDAR verisinden üretilen YM ve RGB-KÖ bantlı görüntüden elden edilen bitki indeksi verilerini kullanarak binaları sınıflamıştır. Moussa ve El-Sheimy (2012), LiDAR YM'yi yer, bitki ve bina şeklinde yüksekliğe bağlı olarak sınıflamış ve bitki indeksi ile bitkileri elemine ederek binaları tespit etmiştir. Grigillo ve Kanjir (2012), de benzer şekilde NDVI ile LiDAR'dan üretilen nYM 'ye

maske uygulamıştır. Geriye kalan yerden yüksek bazı objeleri morfolojik olarak filtreleyip Hough dönüşümü ile bina taban alanlarını üretmiştir. Lee vd. (2008), LiDAR nokta bulutunda yerel maksimum ve maksimum bina alanı koşullarını kullanarak öncül bina noktaları ve bunlardan yaklaşık bina taban alanlarını belirlemiştir. Daha sonra hava fotoğraflarından belirlediği köşe noktaları ile öncül bina alanlarını düzenleyerek sonuç bina alanlarını üretmiştir. Haala ve Brenner (1999), bitki indeksi ile LiDAR'dan üretilen YM'yi maskelemiş ve belirledikleri yükseklik eşiği kuralıyla binaları tespit etmiştir. Rottensteiner (2007) ve Rottensteiner vd. (2007), LiDAR'dan üretilen YM'yle beraber, pürüzlülük ve bitki indeksini üretmiştir. Daha sonra bu verileri, görüntüden özellik çıkarımı metodu olan Dempster–Shafer metoduyla birleştirerek bina tespiti yapmıştır (Shafer 1967). Yine Rottensteiner (2008), LiDAR ve çok bantlı veri kullanarak tespit ettiği binaları referans verilerle karşılaştırmış ve yıkılan ve yeni yapılan binaları sınıflamıştır.

Demir (2014), görüntü ve nokta verisini beraber kullandığı yöntemde LiDAR yükseklik modelleri ve ortofoto kullanmıştır. Bu yöntemde ilk olarak En Büyük Benzerlik yöntemi ile sınıflandırma yaparak binaları tespit etmiştir. Daha sonra nYM ile objelerin ayrımını sağlamıştır. Diğer bir çalışmada genel bir sınıflandırma yerine çok bantlı görüntüden sadece bitki indeksini üretmiştir. Elde ettiği bitki alanlarını kullanarak nYM'de bitkileri elemine ederek binaları tespit etmiştir (Demir *et al.* 2009). Uzar (2014), LiDAR'dan ürettiği nYM ve LiDAR yoğunluk çalışmasın ortofoto da ekleyerek verilerinde obje tabanlı bir sınıflandırma yöntemi takip etmiştir. Bu verileri görüntü bölütleme sonrasında bulanık mantık yöntemiyle bitki indeksi ve eğim gibi parametreleri kullanarak tanımladığı kurallar ile bina ve diğer obje sınıflarını tespit etmiştir.

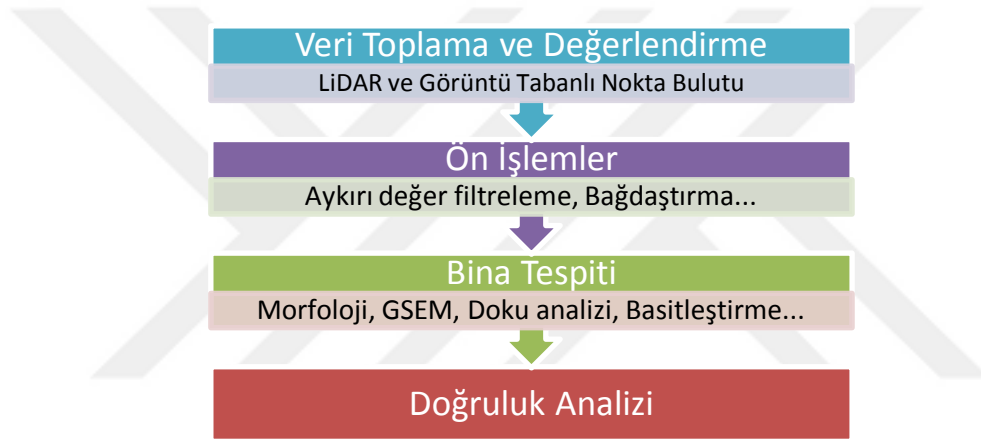
LiDAR ve hava fotoğraflarını kullanarak sınıflandırma yapılan çalışmalar da mevcuttur (Bartels and Wei 2006, Cheng *et al.* 2008, Lu *et al.* 2006, Rottensteiner *et al.* 2004). Bu çalışmalar genelde hava fotoğraflarının sınıflandırılmasını içermektedir. Bunların dışında Matikainen (2009), LiDAR ile ürettiği YM'den yükseklik sınıflandırmasıyla yer ve obje ayrımını yapmış ve ortofoto kullanarak objeleri bina ve diğerleri şeklinde sınıflamıştır. Yine Matikainen vd. (2010), LiDAR'dan üretilen YM'yi karar ağacı

sınıflandırması yöntemi ile sınıflandırarak yer ve obje ayrımı yapmış daha sonra da objeler arasından bitki indeksi kullanarak binaları tespit etmiştir. Zhan vd. (2012), kızılötesi bantlı görüntüsünü sınıflandırmış ve LiDAR ile üretilen YM'den elde ettiği yükseklik bilgisi ile bu sınıfları düzenleyerek yer, bina ve bitki sınıflarını oluşturmuştur.

Tüm bu çalışmaların sonuçları, kullanılan verilerin özellikleriyle doğrudan alakalıdır. Görüntü verilerinin radyometrik, spektral, zamansal ve mekânsal çözünürlüğü, tek veya stereo olması, yükseklik bilgisi, şekil, doku ve eğim gibi yardımcı verilerin kullanılması, binalara ilişkin farklı bilgilerin üretilmesinde etkilidir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu, nokta veya görüntü olarak kullanılması, yardımcı verilerle desteklenmesi ve kullanılan metotlar da sonuçları ve izlenen yöntemin performansını etkilemektedir.

3. MATERYAL ve METOT

Günümüzde 3B nokta bulutu verileri birçok alanda kullanılabilmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber değişik yoğunluklarda nokta bulutu verisini üretmek mümkün hale gelmiştir. Genel anlamıyla geomatik uygulamalarında ise farklı platformlara monte edilmiş lazer tarayıcı veya fotogrametrik sistemler ile üretilen nokta bulutları kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında da hava lazer tarama sistemi olan LiDAR ve İHA fotogrametrisi ile elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Bu iki sisteme ait temel prensip ve genel işleyişler veri toplama bölümünde verilmektedir. Bu tezde izlenen yöntemin iş akışı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı.

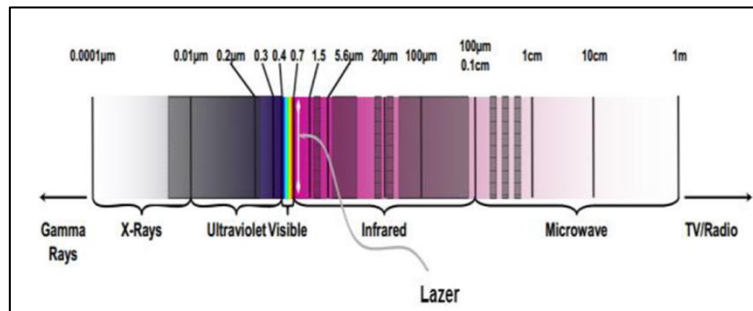
3.1 Veri Toplama ve Değerlendirme

3.1.1 LiDAR Sistemi

Günümüzde LiDAR değişik amaçlarda, çok yoğun olarak kullanılan aktif algılama teknolojisidir. Bu sistem klasik ölçme yöntemlerine göre çok hızlı bir şekilde ve yüksek doğrulukta veri elde etme imkânı sağlamaktadır. En büyük avantajlarından bir tanesi elde edilen nokta bulutunun 3B olarak referanslandırılmış olmasıdır. 3B nokta bulutundan yükseklik bilgisi de doğrudan alınabilmektedir. Kısa sürede geniş alanlara ait milyonlarca veri toplama kabiliyetine sahiptir. Bu sebeple yükseklik bilgisinin ihtiyaç duyulduğu, jeoloji, şehircilik, haritacılık, risk ve afet yönetimi, mühendislik projeleri gibi birçok disiplinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Polat ve Uysal 2016).

Uluslararası literatürde, lazer tarama ve lazer altimetre olarak da bilinen sistem, Radar benzeri bir yöntem ile çalışmaktadır. Temel farkı mikro dalga yerine lazer ışınlarını kullanmasıdır. 1960'ların sonlarında ortaya çıkan LiDAR sisteminin ticari olarak ilk haritalama örneği 1993'te topografik harita olarak karşımıza çıkmaktadır (Liadsky 2007, NOAA 2012). YM gibi topografik ürünler için lazer tarama sistemlerinin kullanımına dair tartışmalar ilk olarak 1994 yılında Almanya'da Ölçme ve Haritalama Birimi (Surveying and Mapping Agency-SMA) tarafından başlatılmıştır (Petzold *et al.* 1999). O dönemde, bu konuda yapılan tartışmalar daha henüz sonuçlanmadan birçok şirket değişik amaçlara yönelik haritalar için LiDAR sistemlerini kurmuşlardır. Bu tarz teknolojik yatırım ve araştırmalar, günümüzde de devam etmektedir. Günümüzde lazer tarama sistemleri, monte edildikleri platformlara göre yersel ve hava lazer tarayıcılar olarak sınıflanabilir. Hava lazer tarama sistemleri daha çok LiDAR olarak bilinmekle beraber hava lazer tarama sistemi (ALS) olarak da bilinir. Uydu sistemlerini saymazsak uçak, helikopter ve son yıllarda İHA'lar da veri toplama platformu olarak kullanılmaktadır. Yersel sistemler ise sabit platformlarda Yersel Lazer Tarama Sistemi (TLS) ve mobil platformlarda Mobil Lazer Tarama Sistemi (MLS) olarak adlandırılırlar.

Aktif algılama prensibinde olan lazer tarama sistemleri, enerjisi yüksek ve fiziksel boyut olarak dar/ince olan bir lazer ışığı üreterek hedefe yollar ve geriye dönen ışığı kayıt altına alır. Günümüzde ticari olarak aktif satışı yapılan lazer tarama sistemlerinde 810 nm ile 1540 nm dalga boyu arası kullanılmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Lazer ışınının spektrumdaki yeri.

Tarayıcıların lazer gönderme şekilleri de paralel, eğik paralel ve eliptik gibi farklılık göstermektedir. Her tarama şeklinde toplanan nokta sayısı ve nokta yoğunlukları farklılık göstermektedir. Farklı tarama şekli nokta yoğunluğu farkını, veri toplanamamış

olan alanları veya üst üste aynı ya da çok yakın konumdan toplanmış verileri de beraberinde getirmektedir.

Günümüzde LiDAR sistemi ile fotogrametrik yöntemler kıyaslanınca, LiDAR ile elde edilen ölçümlerin yatayda ve düşeydeki doğrulukları fotogrametrik yöntemlere yetmişmiş durumdadır. Bir LiDAR sisteminin platform olarak insanlı kontrol edilen uçak ve helikopterin yanı sıra İHA ile de kullanılabileceği bilinmektedir. Bir LiDAR sisteminin temel olarak üç bileşeni vardır: **i)** lazer tarama sistemi, **ii)** küresel konumlama sistemi ve **iii)** atalet ölçüm sistemi. Lazer tarayıcı, kullanıldığı platformun altına monte edilmektedir. Bunların dışında ölçümlerin kaydedilmesi ve takibi için bilgisayar ve kayıt cihazı da bu sisteme dâhil edilmektedir. Zorunlu olmamakla beraber hava kamerası da bu sisteme dâhil edilebilir.

Tarayıcı, gönderdiği her bir lazer ışının gidiş ve dönüş süresini kaydederek ışının sensör ile çarptığı objeler arasındaki mesafeyi ölçer (Meng *et al.* 2010). Bu ölçüm zamanı dikkate alınarak GPS ile platformun o anki konumu ve IMU ile de uçağın o anki dönüklük durumu kaydedilir. Kaydedilen tüm bu veriler ölçülen objenin konumunun hesaplanmasında kullanılır (Liu 2008). LiDAR sisteminin temel mantığı tüm bu ölçümler sırasında lazer ışının konumu bilinen sensörden, konumu bilinmeyen bir objeye gidiş ve dönüş süresinin belirlenmesine dayanmaktadır. Lazer ışını hızının c olduğu bilinerek, bir lazer ışınının gidiş ve dönüş toplam uçuş süresi eşitlik 3.1 'de gösterilmektedir.

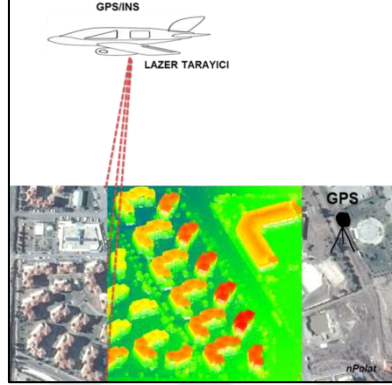
$$t = \frac{2R}{c} \quad (3.1)$$

Burada R , lazer sensörü ile obje arasındaki mesafedir. R değeri eşitlik 3.2 deki gibi hesaplanır.

$$R = \frac{1}{2}tc \quad (3.2)$$

Lazer ışının kaydedilen gidiş- dönüş süresi kullanılarak, lazer ışının çarptığı objenin konumu üç boyutlu olarak hesaplanır. Böylelikle tarama hattı boyunca ilerleyen ve bu

hatta zamana göre dağılmış bir veri kümesi oluşur. Nokta bulutu olarak adlandırılan bu veri kümesi, sistem olanakları ve hesaplama hataları dâhilindeki bir doğrulukla yükseklik bilgisi sağlar. Uçuş doğrultusunda taraması yapılan objeler Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3. 3 Hava lazer tarama sistemi.

Lazer ışınının ulaştığı obje üzerinde oluşturduğu ize, ayak izi (foot print) denmektedir ve yaklaşık olarak bir çemberdir. Bu ayak izinin yarıçapı lazer ışınının tarama açısına, platformun yüksekliğine, platformun hareket hızına ve taraması yapılan topografyaya bağlıdır. Ortalama olarak 1000 m yüksekten yapılan bir taramada lazer ışını bir düzlemde 5 cm yarıçapa karşılık gelmektedir. Bu durumda tek bir lazer ışınının çarptığı objelere bağlı olarak, tek veya çoklu şekilde algılayıcıya dönmesini sağlamaktadır.

Nokta yoğunluğu/sıklığı ise genelde 1 m²'lik bir alana düşen nokta sayısı olarak tanımlanır. Bu yoğunluk lazer tarayıcının frekansına, platform yüksekliğine ve hareket hızına bağlıdır. Ortalama nokta yoğunluğu; 20 m²'lik bir alanda 1 LiDAR noktası ile minimum ve 1 m²'lik bir alanda 20 LiDAR noktası ile maksimum yoğunluk arasında değişebilir. Amaca bağlı olarak ihtiyaç halinde daha yoğun nokta bulutu elde etmek için aynı bölgede üst üste tekrarlı uçuşlar da yapılabilir. LiDAR verilerinin sayısal ortamda çok yer kaplamadan saklanması ve kullanımı kolaylığı için Amerika Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing -ASPRS) LiDAR komitesi tarafından binary formatta geliştirilen (.las) formatı kullanılmaktadır (İnt.Kyn.1). Fakat elde edilen veriler text ya da ASCII gibi farklı formatlarda da kullanılabilir.

LiDAR hata kaynakları az oranda hesaplama ve insan kaynaklı olmasının yanında daha çok kullanılan cihazların yetenekleri ve çalışma prensiplerine dayanmaktadır. Bu hatalar genel olarak:

- * Lazer ölçümü
- * GPS (alıcı hatası, uydu ve yer istasyonu sinyal durumu),
- * INS (frekans hatası, kayma),
- * GPS-INS-tarayıcı bağlantı ve kalibrasyonu,
- * Zaman senkronizasyonu ve enterpolasyonu,
- * Lokal koordinat sistemine dönüşüm,

olarak sıralanabilir.

3.1.2 Fotogrametri

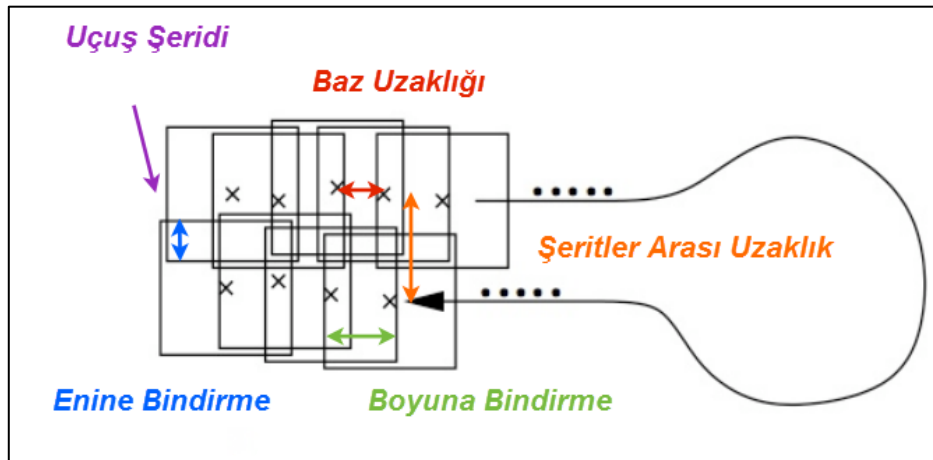
Fotogrametri, “nesnelere ve yakın çevresine herhangi bir fiziksel temas olmaksızın, yayılan elektromanyetik enerjinin algılanması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasıyla, nesne ve çevresi hakkında güvenilir bilgiler elde etme bilimi, sanatı ve teknolojisidir”. Fotogrametri, temel olarak resim çekme noktasının konumuna göre, Hava Fotogrametri ve Yersel Fotogrametri olmak üzere ikiye ayrılır (Külür ve Toz 2002). Fakat gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde İHA’lar da fotogrametrik uygulamalarda platform olarak kullanılmaya başlanmış ve İHA Fotogrametrisi tabiri literatürlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Hava fotogrametrisi genel olarak topoğrafik veya tematik haritalar ile SAM elde etmek için kullanılır. Yersel fotogrametri ise daha yoğun olarak mimarlık ve inşaat mühendisliği (yapıların mevcut konumlarının kontrolü, deformasyon ve hasar tespiti amacıyla), arkeolojik amaçlı çalışmalarda, tıpta, trafik kazaları veya suç mahallerinin incelenmesi gibi kriminolojik çalışmalarda kullanılmaktadır.

İHA’lar insanlı hava araçlarına göre daha düşük maliyetli, verilerin işlenmesi anlamında göreceli olarak daha hızlı, yüksek çözünürlükte veri sağlayan ve tekrarlı uçuş imkânının daha fazla olması sayesinde, özellikle küçük alanlar için tercih edilmektedir (Eisenbeiss

2009). Ayrıca İHA'lar, insanlar için tehlike arz eden bölgeler ve hassas davranılması gereken arkeolojik alanlarda, kolaylıkla ölçüm yapılmasını sağladığı için de tercih edilmektedir. İHA'ların bina modellemede ki en önemli avantajı fotoğraf çekme platformu şeklinde kullanılarak, cephe ve çatılarda fotoğraf çekiminde yaşanan sıkıntılar gidermesidir. Bu noktada fotoğraf çekim açısı önem kazanmaktadır. Çünkü tam bir modelleme için binanın her yanından fotoğraf elde etmek gerekmektedir. Bu sebeple nadirden çekimlerin yanı sıra eğik çekim de çok önemlidir. Literatürde eğik çekimin düşük ve yüksek eğik şeklinde iki çeşidi vardır. Düşük eğik çekimde ufuk görünmez iken yüksek eğik çekimde ufuk da görülmektedir (Nyaruhuma 2012). Düşük eğik çekim küçük alanlar ve bireysel objeler için daha iyidir.

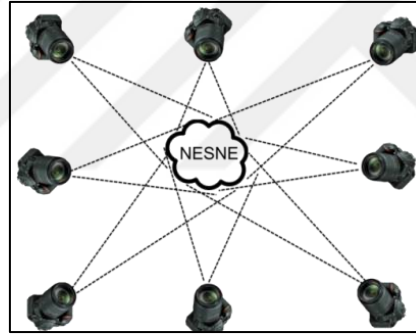
Fotogrametride fotoğraf koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlamak için Yer Kontrol Nokta'ları (YKN) kullanılmaktadır. Bu sebeple veri toplama aşamasından önce YKN'ler arazi karakteristiğine ve çalışma alanına mümkün mertebe homojen olacak şekilde tesis edilir ve ölçülür. Uçuş yapılmadan önce bir uçuş planının yapılması gerekmektedir. Uçuş planının en temel adımı projenin amacına yönelik olan ihtiyaçların tam olarak belirlenmesidir. Bu noktada çalışmanın yapılacağı alanın belirlenmesi, ilgi duyulan objelerin boyutu, kamera, uçuş yüksekliği, fotoğraf sayısı ve çekim şekilleri (Eğik - Nadir) gibi parametrelerin netleşmesi gerekmektedir. Bunlara bağlı olarak uçuş yüksekliği, fotoğraf çekme açısı, kolon sayısı ve doğrultuları belirlenir (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Uçuş planlaması ve dikkat edilmesi gereken parametreler.

3.1.3 Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM)

2B görüntülerden derinlik bilgisi çıkarımı, fotogrametrinin ilgi alanı olarak stereo hava fotoğraflarından topografik yükseklik haritaları üretimi için kullanılmasıyla başlanmıştır. Zaman içinde bilgisayar teknolojisi ve sayısal veri formatlarındaki gelişimle beraber, bilgisayarlı görüş araştırmacıları da bu konuda çalışmaya başlamıştır (Barnard and Fischler 1982, Dhond and Aggarwal 1989, Marr and Poggio 1976, Scharstein *et al.* 2002, Seitz *et al.* 2006). Her iki bilim dalında da temel problem görüntü eşlemesidir. Yani bir görüntüdeki bir pikselin diğer görüntüdeki karşılığının aranmasıdır. İlk eşleme çalışmaları daha çok stereo görüntü çiftlerinde yapılırken, bu çalışmalar şimdilerde çoklu görüntülerde yapılmaktadır. Çoklu görüntü setleri, objenin farklı açılardan çekilmiş fotoğraflarının yanı sıra farklı kameralar ile çekilmiş fotoğraflarını içerebilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 SfM yaklaşımında fotoğraf çekim konumlarına bir örnek

Bugün fotogrametri ve bilgisayarlı görüş bilim dallarının kesişim alanı olan görüntü eşleme işlemi daha çok SfM, SfM fotogrametrisi ya da yoğun görüntü eşleme (Dense Image Matching) olarak adlandırılmıştır. SfM'nin tam bir Türkçe çevirisi olmamakla beraber Hareket Tabanlı Yapısal Algılama şeklinde ifade edilebilir. Aslında SfM ile ilgili ilk çalışmalar bilgisayarlı görüş araştırmacıları tarafından görüntülerde eşlenik nokta bulmak ve konumlandırmak için yapılmıştır (Boufama *et al.* 1993, Spetsakis and Aloimonos 1991, Szeliski and Kang 1994). SfM aslında fotogrametrinin temel yaklaşım ve geometrisini kullanan bir yöntemdir. Yani derinlik bilgisi için bindirmeli görüntülere ihtiyaç duymaktadır.

SfM'nin fotogrametriden en temel farkı, görüntü geometrisini, kamera konumları ve dönüklükleri ön bir bilgi olmadan elde etmesidir. Bilindiği gibi bu çözüm için klasik fotogrametride görüntüdeki bir noktanın 3B konum bilgisi için fotoğraf çekim noktasının konum ve dönüklük bilgisi ya da görüntüde 3B konumu bilinen kontrol noktaları gerekmektedir. SfM yaklaşımında ise bu öncül bilgiler yerine, bindirmeli çoklu veri setinde tespit edilmiş eşlenik noktaları çoklu görüntülerde takip ederek, çoklu görüntü veri seti ve kameralar arasındaki geometrik modeli oluşturup, eşlenik noktaların 2B konumlarını demet dengelemesinde kullanarak 3B 'a geçiş yapar (Snavely 2008). Sonuç olarak geleneksel fotogrametri ile karşılaştırıldığında, belirlenen 3B konumları herhangi bir referans bilgisi olmadığı için rastgele bir 3B uzayındadır. Yani ölçek, yönlendirme ve yer referanslaması eksiktir. Bu sebeple, SfM işlemlerinde ayrıca yer kontrol noktaları kullanılarak 3B benzerlik dönüşümü ile ölçek ve referans problemi çözülür. Fotoğrafların doku, çözünürlük ve aydınlatma gibi bazı durumları, eşlenik nokta tespitini etkileyeceği unutulmamalıdır. Günümüzde SfM yaklaşımı ile çalışan ticari ve açık kaynak kodlu birçok yazılım mevcuttur. Tez çalışması kapsamında kullandığımız Pix4D yazılımı ile üretilen Bergama test alanına ait nokta bulutu örneği Şekil 3.6'de görülmektedir.



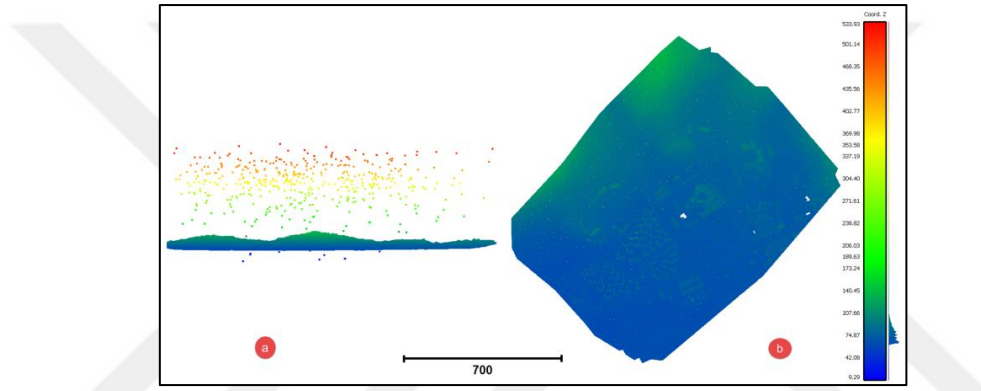
Şekil 3. 6 Görüntü tabanlı elde edilen nokta bulutu örneği (Bergama).

3.2 Ön İşlemler

3.2.1 Aykırı Değer Filtreleme

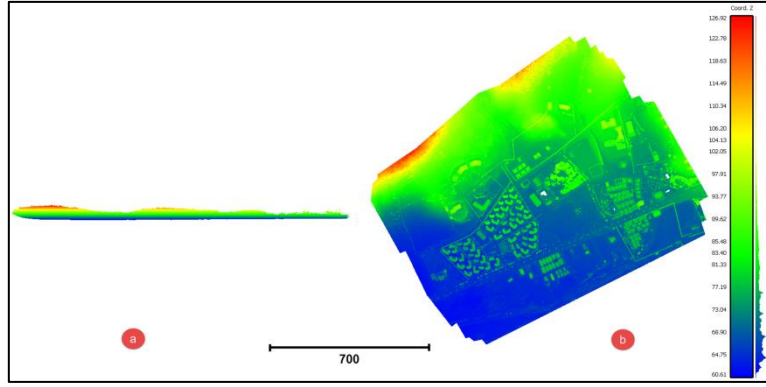
Aykırı değer noktaları, arazi ile hiç bağlantısı olmayan, arazinin çok altında veya üstünde bir konum şeklinde kaydedilirler. Bu noktalardan arazi yüzeyinin çok üzerinde

olanları, veri setine göre aşırı yükseklik farkı sebebiyle hemen belli olan bozukluklardır. Lazer ışınları yer yüzeyinden çoklu yansıma yaparak alçak aykırı verileri oluşturur ve bu veriler çevrelerini saran verilerden daha düşük yüksekliğe sahiptir. Bir anlamda yer yüzeyinin altından yansımış gibi veri setine dâhil olan bozukluktur. Kuş, toz ve yüzey yansıtım özelliği dışında sensörün kısıtlı kabiliyetinden de kaynaklanabilmektedir (Baltasvias 1999). Görüntü tabanlı elde edilmiş nokta bulutlarında LiDAR sistemindeki gibi aykırı değerler oluşmamaktadır. Bu sebeple görüntü tabanlı nokta bulutları için herhangi bir aykırı değer filtreleme işlemine gerek kalmamaktadır. Aykırı değer içeren bir LiDAR veri setinin nadir ve kesit görüntüsü Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3. 7 LiDAR verisindeki aykırı değerlerin yandan (a) ve üstten (b) görünüşü.

Aykırı değerlerin filtrelenmesi için Rusu vd. (2008) tarafından önerilen istatistiksel aykırı değer filtreleme algoritması uygulanmıştır. Bu algoritma komşuluk istatistiklerine bakarak farklı komşuluğa sahip noktaları aykırı değer kabul eder ve bunları filtreleyerek veri setinden çıkarır. Temelde iki adımda tüm veriyi inceler. İlk adım sırasında öncül olarak kullandığı noktaların en yakın komşularına olan ortalama mesafeyi hesaplar. Daha sonra, tüm bu mesafelerin ortalama ve standart sapmasını, bir mesafe eşik değerini belirlemede kullanır. İkinci adımda ise tüm noktaların belirlenen eşik değere göre aykırı değer olup olmadığını belirler. Eğer veri hakkında yeterli bilgi yoksa ve ana hedef aykırı değerleri elde etmek değil de sadece bu aykırı değerlerin filtrelenmesi ise, Bu yaklaşım kullanılabilir (İnt.Kyn.2). Aykırı değerlerin filtrelenmesi sonrası elde edilen veri Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3. 8 Aykırı değerleri temizlenmiş LiDAR verisinin yandan (a) ve üstten (b) görünüşü.

Şekil 3.8’de yükseklik skalasındaki minimum ve maksimum Z koordinatlarına dikkat edilirse aradaki farkların çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun yapılacak uygulamaları doğrudan etkileyeceği bir gerçektir. Bununla birlikte kesit görüntüsünde de aykırı değerlerin rastgele dağılmış olduğu anlaşılmaktadır. Filtrelenmeden önce maksimum Z koordinat değeri 533,93 m ile arazinin çok üstünde bir nokta iken aykırı değerler filtrelendikten sonra bu değer 126,92 m olmuştur. Benzer şekilde filtreleme öncesi minimum değer 9,29 m gibi arazi seviyesinin çok altında iken aykırı değerler filtrelendikten sonra 60,61 m olmuştur.

3.2.2 Bağdaştırma

Verilerin bağdaştırılması bilimsel literatürde Coregister ya da Align olarak ifade edilmekte ve aynı objeye ait farklı veri setlerinin aynı fiziksel konumlara taşınması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bilindiği gibi verilerin bir koordinat sistemine taşınması için çoğunlukla IMU ve GPS kullanılmaktadır. Fakat bu sistemler her zaman için düşük te olsa hatalar içermekte ve ölçüm esnasında ideal ya da minimum gereksinim duyulan şartları sağlayamamaktadır. Bağdaştırma işlemine ihtiyaç duyulmasındaki temel sebep, bu hatalardır. Bundan dolayıdır ki aynı çalışma alanındaki bir objenin farklı kaynaklardan elde edilmiş veri setlerindeki fiziksel konumlarında kaymalar olabilmektedir (Hebel and Stilla 2007, Maas 2000). Bağdaştırma işlemi sadece bir veri setinin, referans veri setine göre ötelenmesini ve dönüklüğünü içeren bir işlemdir (Rajendra *et al.* 2014).

3B nokta bulutu için en fazla kullanılan yöntem, İteratif En Yakın Nokta (İEYN) (The

iterative closest point- ICP) yöntemidir. Besl ve McKay (1992) tarafından ilk olarak 3B olan objeler, eğriler ve yüzeyler için önerilmiştir. Yersel lazer tarama, LiDAR ve görüntü tabanlı nokta bulutları için en fazla kullanılan yöntem olduğu söylenebilir. İEYN'nin bu kadar tercih edilmesindeki en önemli neden, veriler arasında öncül bir eşlenik özellik (nokta, eğri, yüzey, vs) seçmeye ihtiyaç duymamasıdır. Ayrıca, çok yoğun aykırı değer ya da gürültü bulunmadığı sürece, verilerde herhangi bir ön işleme de gerek duymamaktadır. Temel olarak bir model ya da referans veri ile bunun karşılığında bir ölçü veri seti vardır. Ölçü veri setindeki her bir noktanın referans veri setine olan öklid uzaklığı hesaplanır. En kısa mesafeye sahip ölçü noktasına karşılık referans veri setinden en uygun nokta seçilir. Bu iki nokta arasındaki 3B dönüklük ve öteleme matrisleri hesaplanır ve tüm veri setine uygulanır (Besl and McKay 1992). Bu işlem, iteratif olarak yapılır ve ötelenmiş olan tüm noktaların referans veriye olan mesafelerinin karesel ortalama hatası önceden belirlenen bir değere ulaşmaya veya verilen iterasyon sayısına kadar devam eder. İterasyon ve eşlenen nokta sayısının artması da hatayı belli bir seviyeye kadar düşürebilmektedir (Bellekens *et al.* 2014, Hebel and Stilla 2007).

Bazı çalışmalarda iterasyona, veri setlerini el ile örtüştürme, kullanıcı tanımlı noktalar belirleme, obje ya da yüzeye ait karakteristik noktaları tanımlama ve kd-Ağacı gibi komşuluk işlemlerinde kullanılan metotlar ile başlanmıştır (Chen *et al.* 1998, Chen *et al.* 1999, Faugeras and Hebert 1986, Rajendra *et al.* 2014, Stein and Medioni 1992). Buradaki temel amaç, iterasyona başlarken tüm veri setini taramadan ilk öteleme ve dönüklüğü belirleyip işlemleri hızlandırmaktır. Sonuçta, ölçü veri seti, referans veri setine bağlanmış olur. Ölçek ve koordinat değerlerinde bir değişim olmadan mekânsal olarak bir dönme ve öteleme gerçekleşmiş olur.

3.2.3 Enterpolasyon

Bilindiği gibi konum ve konuma bağlı bilgiler cisimlerin 3B modellenmesinde kullanılmaktadır. Fakat modeller süreklilik arz ederken konum bilgileri bu sürekliliğe sahip değildir. Bu sebeple veri setinde boşlukları dolduracak ara değerlerin üretilmesi gerekmektedir. Özellikle araziye ait modellerin üretilmesinde enterpolasyon işlemi çok yoğun kullanılmaktadır. Bilimsel literatürde farklı yaklaşımlar içeren birçok metot

mevcuttur. Bu yöntemler içinde en çok kullanılanları Kriging (Green 1986, Mcbratney and Webster 1986), Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntem (Shepard 1968) ve en yakın komşuluk (Sibson 1981) metotlarıdır. Tez çalışması kapsamında da en yakın komşuluk metodu kullanılmıştır.

En yakın komşuluk metodu Sibson metodu ya da “alan çalan” metot olarak da bilinmektedir. Bu yöntem, “yakın olan nesneler benzer özellik gösterir” coğrafi bir prensibinden esinlenmiştir. Temel yaklaşım olarak enterpole edilecek konuma ilişkin değeri, Voronoi diyagramı ile belirlenen komşu verileri kullanarak hesaplamasıdır (Voronoi 1908). Doğal olarak yüzeyin genel eğiliminden etkilenmeden tepe ya da çukur oluşturmada yumuşak bir yüzey oluşturur. En önemli özelliği orijinal girdi verilerini aynen koruyarak bilgi kaybını engellemesidir.

3.2.4 Mekânsal Çözünürlük

Bilindiği gibi mekânsal çözünürlük uzaktan algılama görüntü verilerinde objelerin ayırt edilebilirliği için kullanılan bir tanımlamadır. Daha çok bir görüntü pikseliyle ayırt edilebilecek en küçük obje boyutunu ifade eder. Bu sebeple mekânsal çözünürlük ya da piksel boyutu önem arz eder. Nokta bulutundan sayısal görüntüye geçilirken bu piksel boyutuna karar verilmesi gerekmektedir. Bu işlem enterpolasyon ile doğrudan alakalı olmasına rağmen piksel boyutunun doğru seçilmesi gerekir. Çünkü nokta veri, mekânsal dağılım olarak görüntü verisi gibi düzenli ve grid yapıda değildir. Nokta veriden gridlere/piksellere değer tanımlanırken kaç farklı noktadan veri tanımlanacağı grid/piksel boyutuyla alakalıdır. Hu (2003) LiDAR nokta bulutu verisinden yükseklik modeli üretimi yaptığı çalışmada en uygun piksel boyutu seçimi için;

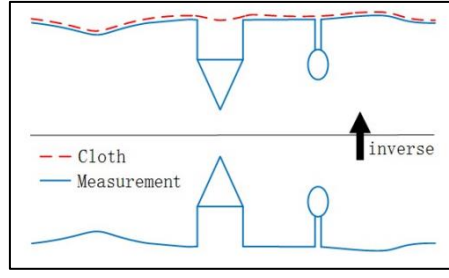
$$B_{\text{Piksel}} = \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (3.3)$$

eşitliğini önermiştir. Burada A , veri setinin kapladığı alanı ve n , görüntü üretiminde kullanılacak veri setindeki nokta sayısını ifade etmektedir. Tüm veri setleri çözünürlük hesaplandıktan sonra çalışmanın tutarlılığını sağlamak için tüm veri setlerinde 50 cm kullanılması kararlaştırılmıştır.

3.2.5 Yer ve Obje Noktalarının Ayrılması

LiDAR nokta bulutunu yer ve obje noktalarına ayrılmasına nokta bulutunun sınıflandırılması ya da filtrelenmesi denir. Bu kavram ilk olarak LiDAR için kullanılsa da tüm nokta bulutları için uygulanabilir. Filtreleme işleminin amacı yer noktalarını yüksek doğrulukla belirleyip SAM üretmektir. Literatürde farklı yaklaşımla birçok yöntem geliştirildiği görülmektedir. Literatürde yaygın olarak bilinen çalışmalara örnek olarak Akel vd. (2003), Axelsson (2000), Forlani ve Nardinocchi (2007), Kraus ve Pfeifer (1998), Sithole (2001), Vosselman (2000), Zhang vd. (2003) verilebilir. Farklı kabul ve varsayımlar ile obje ve yer noktaları arasındaki ilişkileri temel alan bu yaklaşımlar genelde iyi sonuçlar vermektedirler (Polat 2014). Fakat hala engebeli alanlarda, sık ormanlarda, ani yükseklik değişiminin, köprü ve su gibi arazi süreksizliğinin olduğu alanlarda istenen düzeyde başarı sağlanamamıştır (Sithole and Vosselman 2004). Briese (2010), filtreleme için kullanılan algoritmaları, probleme yaklaşım tarzlarına göre dört sınıfta toplamıştır: Şekil (Morfolojik) temelli filtre, kademeli yoğunluk filtresi, yüzey temelli filtre ve bölütleme temelli filtre. Fakat çok bantlı verilerin filtrelemede kullanılması, LiDAR dönüşlerinin artması ve sinyal işleme algoritmalarıyla beraber filtreleme yaklaşımları çok değişmiştir.

Tez çalışması kapsamında Zhang vd. (2016) tarafından önerilen Cloth Simulation Filtering (CSF) yaklaşımı kullanılmıştır. CSF algoritması doğruluğu, yüksek performansı, kullanım kolaylığı ve kısa işleme süresi nedenleriyle tercih edilmiştir. Temel olarak arazinin üzerinde bir örtü ya da elbise serildiği düşünülür. Varsayılan bu örtünün gözenek boyutları (Cloth Resolution - CR) grid boyutu olarak düşünülmüştür. Benzer şekilde örtünün araziye temas mesafesi sınıflandırma eşik değeri (Classification Threshold - CT) olarak varsayılmıştır. Belirlenen bu parametrelere göre arazi örtüyle ters çevrilince elde edilen yer noktaları elde edilmekte ve üstte kalanlar ise obje noktaları olmaktadır. Bu işlem iteratif olarak tekrarlanır ve sonuçta yer ve obje noktaları ayrılmış olur. CSF algoritmasının temel yaklaşımı Şekil 3.9 de görülmektedir.

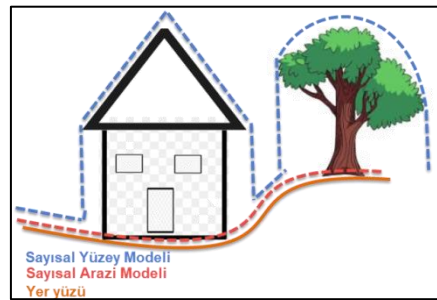


Şekil 3. 9 CSF algoritmasının temel yaklaşımı (Zhang et al. 2016).

3.2.6 Sayısal Yükseklik Modelleri

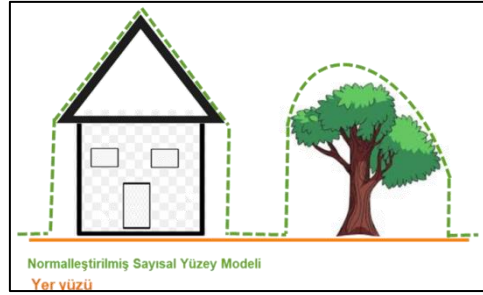
Bilgisayar teknolojisiyle beraber topografyaya ilişkin en yaygın veriler sayısal yükseklik modelleridir. SYM'ler birçok mühendislik projesinde altlık olarak kullanılan çok önemli verilerdir. Adından da anlaşılacağı üzere yükseklik bilgisi içerir. Üç farklı yükseklik modelinden söz etmek mümkündür.

Sayısal Yüzey Modeli (YM), topografyanın, üzerindeki tüm objeler dâhil olacak şekilde ve yükseklik bilgisi de içeren sayısal bir gösterim modelidir. SAM ise bitkiler gibi doğal ve binalar gibi yapay objeler ayıklandıktan sonra çıplak arazinin yükseklik değerlerini ifade eden sayısal bir görüntüdür (Maune 2007). Diğer bir ifadeyle çıplak yeryüzünü X ve Y yönlerine düzenli olarak dağılmış Z değerleri içeren sayısal bir görüntü ile ifadesidir. YM ve SAM için seçilecek objeleri gösteren bir çizim Şekil 3.10' de görülmektedir.



Şekil 3. 10 YM ve SAM.

Son yıllarda literatürde normalleştirilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nYM) kavramı da kullanılmaktadır. nYM temelde YM ile SAM arasındaki farktır ($nYM = YM - SAM$) (Şekil 3.11).



Şekil 3. 11 nYM.

Böylece, yeryüzü bir düzleme indirgenmiş olur ve piksellerin planimetrik koordinat bilgisi korunurken düşey koordinatlar yükseklik bilgisine dönmüş olur. Bir anlamda düşey koordinatlar doğrudan yükseklik olarak da ifade edilir hale getirilir.

3.3 Bina Tespiti

Bina tespiti, kullanılan veri setinde binaların sınıflandırılması veya etiketlenmesi anlamına geldiği gibi bu sınıfların kapladığı alanlarının çıkarılması da olabilmektedir. Tez çalışması kapsamında binalar yükseklik modellerinden tespit edilmiş ve daha sonra izdüşüm alanları üretilmiştir. Bunun için, morfolojik aşınma, doku analizi, renk dilimleme ve taban alanı basitleştirme işlemleri yapılmıştır.

3.3.1 Matematiksel Morfoloji

Morfoloji (biçim bilimi) daha yaygın bilinir haliyle biyoloji biliminin bir araştırma konusu olarak doğadaki canlıların şekilleri ve yapılarıyla ilgilenmektedir. Morfolojinin matematiksel karşılığı ise benzer şekilde bir görüntüdeki objelerin yapısal durumlarının incelenmesidir. Serra (1983), tarafından önerilen bu yöntem, ilk olarak ikili görüntüler için uygulansa da zaman içinde gri seviye görüntüler içinde uygulaması geliştirilmiştir. Morfoloji temel olarak matematiksel küme işlemlerine dayanmaktadır. Gri seviyede kümelenmiş objelere ait sınırların belirlenmesi, verideki gürültü ve aykırı değerlerin giderilmesi ve verinin bölütlenmesi gibi birçok görüntü tabanlı işlemde kullanılmaktadır (Gonzalez and Woods 2002, Umbaugh 1997). Uygulama olarak plaka saptama, parmak izi tespiti, hareketli obje analizi ve sayısal arazi modellerinde kalan küçük objelerin filtrelenmesi gibi birçok farklı alanda kullanılabilmektedir (Altun ve Allahverdi 2007, Boztoprak vd. 2007, Oral ve Deniz 2005, Özcan vd. 2018).

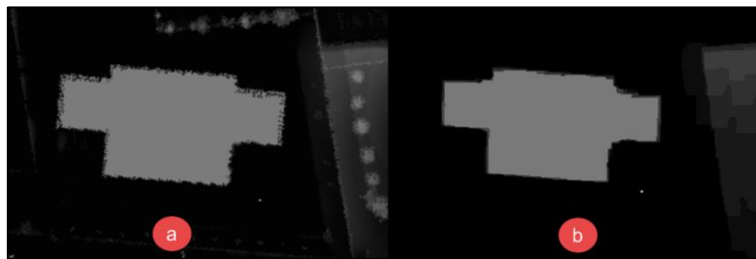
Matematiksel morfolojide temel olarak iki ana işlem vardır. Bunlar Genişleme (Dilation) ve Aşınma/Erozyon (Erode) işlemleridir. Genişleme işlemi görüntüdeki objeleri kalınlaştırma, genişletme ya da büyütme için kullanılır. Bu işlem sırasında obje içerisinde kalan boşlukların da kısmen kapandığı gözlenebilir (Abid Hasan and Ko 2016, Bai and Liu 2017, Bayram 2004, Boztoprak vd. 2007, Gonzalez *et al.* 2009, Gonzalez and Woods 2002, Özşen 2004, Umbaugh 1997). Aşınma işlemi ise genişleme işleminin tersidir. Görüntüdeki objenin küçülmesini ve incelmesini sağlar. Objenin kenarlarını aşındırarak kenardaki tekil piksellerin oluşturduğu gürültüyü giderir. Ayrıca obje içerisindeki boşlukları büyütür ve objelerin birbirinden ayrılması ya da uzaklaşmasına sebep olur (Abid Hasan and Ko 2016, Bai and Liu 2017, Bayram 2004, Boztoprak vd. 2007, Gonzalez *et al.* 2009, Gonzalez and Woods 2002, Özşen 2004, Umbaugh 1997).

Bir A (x,y) görüntüsü için morfolojik operatör olarak kullanılacak B (u,v) kerneli kabul edilirse, matematiksel küme işlemi olarak ($\oplus$) genişleme operatörü 3.4 ve ($\ominus$) aşınma operatörü 3.5 eşitlikleriyle yazılabilir (Serra 1983).

$$A \oplus B = \min_{u,v} \{A(x + u, y + v) - B(u, v)\} \quad (3.4)$$

$$A \ominus B = \max_{u,v} \{A(x - u, y - v) - B(u, v)\} \quad (3.5)$$

Aşınma operatörünün bir gri seviye bina görüntüsüne uygulanması Şekil 3.12’te görülmektedir.



Şekil 3. 12 Orijinal görüntü (a) ve aşınma operatörü sonucu elde edilen görüntü (b).

Görüldüğü gibi bina kenarlarındaki gürültü giderilmiş küçük obje ve ağaçlar aşındırılarak daha sade bir görüntü elde edilmiştir. Bunlar dışında var olan diğer morfolojik işlemler bu iki morfolojik yaklaşımın türevleridir. Örneğin Açılış (Opening) operatörü, aşınma ve genişleme operatörlerinin artarda uygulanmasıyla elde edilen bir operatördür (Bayram 2004).

Tez çalışması kapsamında aşındırma operatörü binaların sınırlarını daha düzgün hale getirme, bir birine çok yakın olan binaların ayrılmasını sağlama ve binalara yapışık durumdaki ağaçları filtreleyerek bina sınırlarının bağımsız hale getirme amacıyla kullanılmıştır. Aşındırma operatörü için 3x3 kare yapı elemanı kullanılmıştır.

3.3.2 Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GSEM) ve Doku analizi

Görüntüleri tanımlarken genellikle piksel boyutu, renk bilgisi ve parlaklık değeri çok sık kullanılan parametrelerdir. Daha az kullanılan bir parametre ise dokudur. Renk ve parlaklık bir pikseli tanımlarken, doku bir piksel grubundan hesaplanır. Bu açıdan doku, piksel komşuluklarının yoğunluk ifade eden özniteliklerinin istatistiksel bir kümesidir. Farklı satır ve sütundaki iki piksel arasında bulunan gri seviyesi farklılıkları karşılaştırılır. Yani bir pikselin dokusu, tek başına bir anlam ifade etmezken mekânsal komşuluk karşılaştırmalarıyla anlamlı hale gelir.

Dokuyu matematiksel olarak ifade etmek için genellikle Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GSEM) (Gray Level Co- Occurence Matrices - GLCM) kullanılmaktadır. Literatürde Gri Seviye Bağımlılık Matrisi olarak da bilinir. GSEM, komşu olan bir piksel çiftinin gri seviyelerinin iki boyutlu histogramıdır. Diğer bir deyişle GSEM farklı piksel çiftlerinin görüntünün tamamında ne sıklıkla bulunduğunu gösteren bir tablodur (Şekil 3.13).

	1	3	5	7		1	3	5	7	
1	1	5	3	7	→	1	0	0	2	0
3	3	3	7	1	→	3	1	0	0	3
5	3	7	5	3		5	0	2	0	0
7	3	1	5	7		7	1	0	1	0

Şekil 3. 13 Eş oluşum matrisinin oluşturulması.

Şekil 3.13'te de görüldüğü gibi, komşu piksel çiftlerinin görüntüde ne sıklıkla bulunduğunu ifade eder.

Doku öznitelikleri büyük oranda görüntü sınıflandırma ve görüntüyü bölütleme amacıyla kullanılır. Bu öznitelikler Haralick vd. (1973) tarafından önerildiği için Haralick doku öznitelikleri veya Haralick parametreleri olarak da bilinir. Literatürde geçen 14 doku ölçülerinin büyük bir kısmı GSEM'den doğrudan doğruya hesaplanır fakat en sık kullanılanları Varyans, 2. Moment, Korelasyon, Kontrast, Homojenlik, Entropi ve Benzemezlik parametreleridir. Her biri görüntünün değişik özelliklerini belirleyen ve GSEM'den türetilmiş özniteliklerdir.

Doku, temelde tespit edilmeye çalışılan bir özellik olduğu için bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin bu parametreleri öneren Haralick kendi çalışmasında görüntü sınıflandırmıştır (Haralick et al., 1973). Ünsalan ve Erçil (1997) birçok doku parametresi kullanılarak tahta yüzeylerin kalite analizini yapılmıştır. Entropi parametresi nYM üzerinden çatı tipi tespitinde kullanılmıştır (Awrangjeb *et al.* 2013). Homojenlik parametresi nokta bulutunun filtrelenmesinden kullanılmıştır (Liu *et al.* 2013, Zarea and Mohammadzadeh 2016). Standart sapma ve Entropi parametreleri görüntü verilerinde ağaç ve bina sınıflandırmasında kullanılmıştır (Matikainen and Kaartinen 2007, Salah *et al.* 2009). Sıvı içindeki kristallerin tespiti ve analizi için de doku parametreleri kullanmıştır (Rao *et al.* 2013). Bunlar dışında görüntü işleme yöntemi ve özellik çıkarımı olarak doku parametreleri tıbbi görüntülerde de sıklıkla kullanılmaktadır (Caruso *et al.* 2017, Mookiah *et al.* 2018, Reischauer *et al.* 2018, Xu *et al.* 2018). Özetlenecek olursa, doku parametreleri görüntü tanıma, görüntü bölütleme, sınıflandırma gibi birçok farklı amaçla birçok farklı disiplinde kullanılabilir. Entropi ve homojenlik gibi bazı parametreler bina sınıflandırma amacıyla kullanılmış

olsa da, tez kapsamında kullanılan Benzemezlik parametresi bu konuda kullanılmamıştır.

Literatürde en sık kullanılan doku parametreleri en sık kullanılanları Varyans, 2. Moment, Korelasyon, Kontrast, Homojenlik, Entropi ve Benzemezlik parametreleridir. Bu parametrelerin matematiksel ifadeleri temel de aynı olsa da notasyonda farklılıklar olabilmektedir (Harris Geospatial 2017).

- Varyans: Piksel çiftlerinin heterojenliğini ve ortalamadan farklılığını ifade eder. Diğer bir ifadeyle doku çeşitliliğini belirten bir ölçüdür.

$$\sum_{i=0}^{Ng-1} (i - M)^2 P(i) \quad (3.6)$$

- 2. Moment: Düzenli doku gruplarını ifade eder. Homojenlikle çok benzerdir. Tekdüzelik (uniformity) olarak da ifade edilir.

$$\sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} \{P(i, j)\}^2 \quad (3.7)$$

- Korelasyon: Komşu piksellerin liner bağımlılığını ve dokunun tutarlılığını ifade eder. Eğer komşu piksellerin değerleri çok yakınsa görüntünün kontrastı düşük olmaktadır (Haralick *et al.* 1973).

$$\frac{\sum_i \sum_j P(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.8)$$

- Kontrast: Dokunun lokal komşuluklarındaki varyasyonu ifade etmektedir.

$$\sum_{i,j} |i - j|^2 p(i, j) \quad (3.9)$$

- Homojenlik: Sıfır olmayan değerler için eşlik/aynınlık durumudur (Clausi and Zhao 2002). Diğer bir ifadeyle yüksek homojenlik, benzer piksellerin çok olması

anlamına gelir. Bu durumda doku olarak tekrar eden bir yapıdan söz edilebilir (Gebejes *et al.* 2013).

$$\sum_{i,j} \frac{1}{1-(i-j)^2} p(i,j) \quad (3.10)$$

- Entropi: Entropi düzensizliği ifade eder. Doku yorumlanmasında piksel çiftlerinin mekânsal dağılıklığını anlatır (Gebejes *et al.* 2013). Örneğin rastgele dağılmış bir görüntüde Entropi yüksektir. Çünkü bir anlamda veride bir kaos mevcuttur.

$$-\sum_{i,j} p(i,j) \log(p(i,j)) \quad (3.11)$$

- Benzemezlik: Piksel çiftlerinin görüntüdeki komşuluk çeşitliliğini ifade eder. Kontrasta benzer (Gebejes *et al.* 2013). Bu parametre, uygulanması basit, yüksek doğruluğa sahip, esnek kullanımlı ve yüksek performanslı olarak bilinmektedir (Paclik *et al.* 2005).

$$\sum_{i,j} |i - j| p(i,j) \quad (3.12)$$

3.3.3 Renk Dilimleme

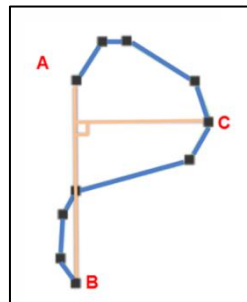
Üretilen doku görüntülerinden bina taban alanlarının çıkarılması için görüntünün bölütlendirilmesi ya da sınıflandırılması gerekmektedir. Klasik kontrollü sınıflandırma zaman alıcı bir işlem olduğu için görüntüler veri değerlerine göre sınıflandırılarak daha net bir ayırım elde edilebilir. Bir bakıma sınıflandırma olan bu işlem benzer değerlere sahip piksellere aynı renkleri atayarak görüntüyü bölütler (Harris Geospatial 2016). Bu işleme renklere bölme / renk dilimleme (Color Slice) denir. Birçok ticari ve açık kaynak kodlu yazılımda mevcut olan bu araç verinin görsel olarak algılanmasında kolaylık ve istenen renk sınıfının vektör formatta elde edilmesine de imkân sağlamaktadır. Renk dilimleme yapılırken yazılımın önerdiği otomatik sınıflandırma kullanılmamıştır. Bunun yerine, otomasyon, tutarlılık ve hiçbir bina kaybetmemek için; görüntünün istatistik değerleri hesaplanarak ortalama değere artı bir standart sapma eklenerek tek bir sınıf oluşturulmuştur.

3.3.4 Poligon Basitleştirme

Vektör formatta elde edilmiş bina kenarları genelde zikzaklı yapıdadır. Bu sebeple vektör verilerin daha düzenli hale getirilmesi ya da amaca göre genelleştirilmesi için basitleştirme / düzenleme (simplification / regularization) denilen bir işlem yapılmaktadır. Aslında bu işlem haritacılık amacıyla nokta verilerden taban alanı üretilirken uygulanması gereken bir işlemdir (Hu 2003). Çünkü bina kenarlarının doğrusal olması gerekmektedir. Fakat nokta verinin düzenli bir dağılıma sahip olmaması, binalara ait olmayan ağaç gibi başka objelerinde taban alanına dâhil olması gibi sebeplerle izdüşüm alanı genelde zikzaklı olmaktadır. Literatürde bu amaçla kullanılan birkaç yöntem mevcuttur. Zhang (1993) kapalı poligonlarda doğrusallık belirleyerek kapalı alanları daha düzenli hale getirmiştir. Sampath ve Shan (2007) belirledikleri bir doğrultu eşik değerine göre poligonu takip etmiştir. Eşik değeri aşan ani değişim noktası ile başlangıç noktası arasını doğrusal hale getirip eşik değerini yönüne göre bu işlemi tekrarlamıştır. En yoğun kullanılan bu yöntem ise Douglas ve Peucker (1973) yöntemidir. Bu yaklaşımın sonuçları diğer yöntemlere göre kıyasla daha iyidir. Literatürde bu yöntemi tercih eden birçok çalışma mevcuttur (Albers *et al.* 2016, Caceres 2008, Hu 2003, Kim *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2006).

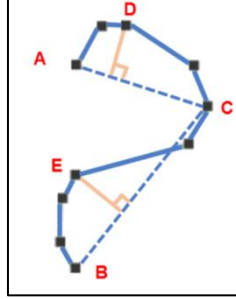
Douglas- Peucker algoritması temelde bir veri setinden nokta atarak çalışır. Doğru düzeltme anlamında çok hızlı bir algoritmadır. Şeklin bütünlüğünü koruyacak temel noktaları saklayarak ve kullanıcı tanımlı bir eşik değeri ile diğer noktaları atar.

Bu yöntemde şeklin iki ucu olan en uzak noktalar (A ve B) belirlenir ve bu noktaların doğrusal olarak birleştiği varsayılır. Oluşturulan bu yeni AB doğrusuna veri setindeki en uzak nokta C belirlenir (Şekil 3.14).



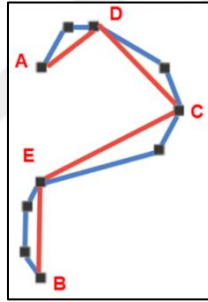
Şekil 3. 14 En uzak noktaların tespiti ve yeni doğru oluşturulması.

Daha sonra A, B ve C ‘den geçen yeni doğrular oluşturulur ve bunlara olan en uzak olan mesafeleri (D ve E) hesaplar (Şekil 3.15).



Şekil 3. 15 Elde edilen yeni doğruya en yakın yeni nokta tespiti.

E ve D’yi de yeniden doğru çizimine ekler ve bu doğruya olan uzak noktalar tekrar hesaplanır. Bu işlem eşik değerin dışında nokta kalmayacak şekilde devam eder sonuç poligon elde edilir (Şekil 3.16).

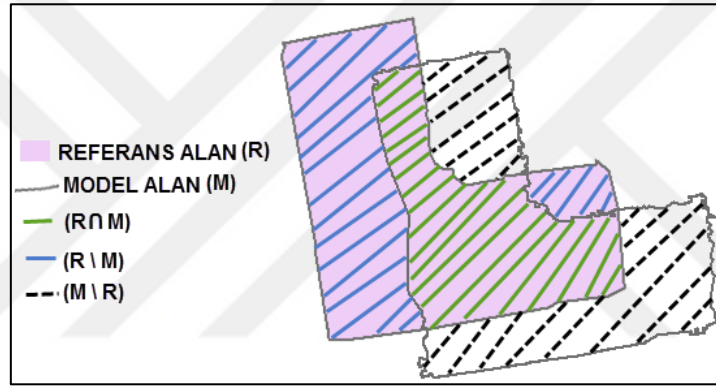


Şekil 3. 16 Orijinal veri ve basitleştirilmiş son hali.

3.4 Doğruluk Analizi

Doğruluk analizini görsel ve nümerik olarak yapmak mümkündür. Basitleştirilmiş izdüşüm alanları mevcuttaki referans taban alanlarıyla örtüştürülerek (Overlay) görsel karşılaştırma yapılabilir. Ancak bu tarz bir karşılaştırma, sonuçlar hakkında görsel olarak bir fikir verse de üretilen model ve referans arasındaki durumu nümerik olarak vermez. Bu sebeple literatürde, nümerik sonuç almak için referans veriden faydalanarak farklı yaklaşımlar ile doğruluk analizleri yapılmıştır (Ding *et al.* 2008, Jin and Davis 2005, Lee *et al.* 2003, Lin and Nevatia 1998, Müller and Zaum 2005). Daha sonra Shufelt (1999) tarafından bir model ve referans veri arasında yapılabilecek bir

kıyaslamadaki olası durumlar ve bunlardan hesaplanan bazı doğruluk ölçütleri önerilmiştir. Rutzinger vd. (2009) ise bu yaklaşımı yeniden düzenlenmiştir. Bu yaklaşım kabul görerek birçok çalışmada kullanılmıştır (Rutzinger *et al.* 2009, Shufelt 1999). Rutzinger vd. (2009) tarafından önerilen bu karşılaştırma yöntemi, ISPRS çalışma grupları da dâhil birçok bireysel ve bilimsel topluluk ortak çalışmalarında değerlendirme ölçütü olarak belirlenmiştir. Tezin Literatür Bilgileri kısmında verilen (Awrangjeb *et al.* 2014, Gerke and Xiao 2014, Gilani *et al.* 2015, Mongus *et al.* 2013, Moussa and El-Sheimy 2012, Wei *et al.* 2012, Yang *et al.* 2013, Zhou *et al.* 2018) gibi birçok çalışma bu yaklaşımı kullanarak sonuçlarını değerlendirmiştir. Shufelt'in önerdiği yönteme göre abartılı bir gösterim Şekil 3.17'de görülmektedir (Shufelt 1999).



Şekil 3. 17 Referans ve Model alanları karşılaştırılması.

Buna göre bir model ve bir referans kıyaslanmasında 3 olası kategori elde etmek mümkündür. Bunlar:

- Gerçek Pozitif – **GP** - (True Positive - TP): Hem modelde hem de referansta bulunmuş bina alanını ifade eder. Küme olarak ifadesi $(R \cap M)$ şeklindedir.
- Yanlış Pozitif – **YP** - (False Positive – FP): Modelde bulunan fakat referansta bulunmayan bina alanını ifade eder. Küme olarak ifadesi $(M \setminus R)$ şeklindedir.
- Yanlış Negatif – **YN** – (False Negative – FN): Modelde bulunmayan fakat referansta bulunan bina alanını ifade eder. Küme olarak ifadesi $(R \setminus M)$ şeklindedir.

Bu üç kategori, Rutzinger vd. (2009)'in önerdiği üretici doğruluğunu (Eşitlik 3.13), kullanıcı doğruluğunu (Eşitlik 3.14) ve kalite (Eşitlik 3.15) parametrelerini elde etmek

için kullanılmaktadır.

$$\text{Üretici Doğruluğu} : \frac{GP}{GP+YN} \quad (3.13)$$

$$\text{Kullanıcı Doğruluğu} : \frac{GP}{GP+YP} \quad (3.14)$$

$$\text{Kalite} : \frac{GP}{GP+YN+YP} \quad (3.15)$$

Bir referans ile üretilen modelin karşılaştırılmasında üretici doğruluğu genel anlamda tamlık ya da tespit oranı olarak da ifade edilmektedir (Foody 2002, Rutzinger *et al.* 2009, Song and Haithcoat 2005). Bu çalışmanın konsepti içinde referansta bulunan alanın ne kadarının doğru tespit edildiğini ifade eder. Kullanıcı doğruluğu da benzer şekilde genel çalışma doğruluğu olarak da ifade edilmektedir. Yani model olarak bulunan tüm alanların ne oranda referansa uyduğu ya da ne kadar benzediğini ifade eder (Foody 2002, Rutzinger *et al.* 2009, Song and Haithcoat 2005). Kalite parametresi ise üretici ve kullanıcı doğruluğunu kullanarak çalışmanın genel performansına ilişkin bir oran vermektedir (Heipke *et al.* 1997). Kısaca model ve referans alanlarının tamamını kullanarak doğru bulunan alanın oranıdır. Bu durumda modelin referans ile yüksek oranda eşleşmesi yetmez. Yüksek kalite için bunu yanı sıra modelde referansa uymayan alanında düşük olması gerekmektedir. Çalışma kapsamında bu doğruluklar dışında üretilen YM'ler için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca SAM'lar için KOH da hesaplanmıştır. KOH için eşitlik 3.16 kullanılmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{(Z_{SAM}-Z_{Ref})^2}{n}} \quad (3.16)$$

3.16 eşitliğinde Z_{SAM} SAM'den elde edilen Z değerlerini ifade ederken Z_{Ref} bunlara karşılık arazide ölçülen Z değerlerini ifade etmektedir. n ise KOH hesabı için kullanılan nokta sayısıdır.

4. UYGULAMA

Tez çalışmasının uygulama kısmında nokta bulutlarından elde edilmiş yükseklik modellerinde, objelerin oluşturduğu doku farklılıklarından yola çıkarak bina tespiti işlemi yapılmıştır. Bu amaçla dört farklı test alanı seçilmiştir. Kampüs test alanı uçuşları 2016 yılında yapılmıştır. İstanbul test alanı LiDAR verisi 2012 yılına aittir. Bergama LiDAR verisi 2015 yılına aitken İHA uçuşları 2017 yılına aittir. Vaihingen LiDAR verisi ise 2013 yılına aittir. Bu alanlar ve veri setleri Çizelge 4.1’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4. 1 Tez kapsamında seçilen test alanları ve bu alanlara ait veri setleri.

Test Alanı	Veri Seti
Afyon - ANS kampüsü	Görüntü tabanlı nokta bulutu (Nadir uçuş)
İstanbul - Yeni Bosna	LiDAR nokta bulutu
İzmir - Bergama	LiDAR nokta bulutu
	Görüntü tabanlı nokta bulutu (Nadir uçuş)
	Görüntü tabanlı nokta bulutu (Eğik uçuş)
Vaihingen - Almanya (3 Bölge)	ISPRS LiDAR nokta bulutu

Test alanlarının her birinde farklı sayıda ve yoğunlukta noktalar bulunmaktadır. LiDAR verileri için kullanılan tarayıcılar farklıdır. Tarayıcılara ait bilgiler Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Çalışma kapsamındaki lazer tarayıcıların teknik özellikler.

Tarayıcı	Frekans (kHz)	Tarama Açısı	Tarama mekanizması	Dalga Boyu (nm)
Leica ALS50	20 - 150	45 ° - 75 °	Aynalı	Y. Kızıl ötesi (1050 - 1060)
Riegl LMS-Q1560	200 - 800	58 ° - 60 °	Dönen poligon ayna	Y. Kızıl ötesi (1040 - 1060)
Riegl Q680i	80 - 400	58 ° - 60 °	Dönen poligon ayna	Y. Kızıl ötesi (1040 - 1060)

Görüntü tabanlı nokta bulutları, DJI Phantom 3 Pro ile toplanan hava fotoğraflarının Pix4D yazılımında işlenmesiyle elde edilmiştir. İHA’ya ve kameraya ilişkin bazı bilgiler Çizelge 4.3’te verilmiştir (İnt.Kyn.3).

Çizelge 4. 3 Kullanılan İHA ve kameraya ait bilgiler.

KAMERA		DJI Phantom 3 Pro	
Sensör	1/2.3"	Ağırlık	1280 g
Piksel	12.4 M	Hız	16 m/s
Lens	FOV 94°	Süre	23 dakika
Boyut	4000×3000	Konumlama	GPS/GLONASS

Test alanlarındaki arazi topografyaları da değişkenlik göstermektedir. Örneğin ANS kampüsü düz arazi iken İstanbul test alanı eğimli bir araziye sahiptir. Yine Bergama test alanı tepelik bir alan iken Vaihingen test alanında bulunan nehirler arazi süreksizliği oluşturmaktadır. Test alanlarında bulunan objeler ve bina tipleri de farklıdır. ANS kampüsünde binalar bir birinde çok uzak ve seyrek bitki örtüsü bulunmakta. İstanbul test alanında yüksek katlı, bitişik nizam ve farklı geometrideki binalar bulunmaktadır. Bergama bölgesinde aynı geometrik şekle sahip binaların oluşturduğu düzenli yapıda siteler bulunmaktadır. Vaihingen’de ise 3 alt bölge seçilmiştir. 1.bölge, Vaihingen şehir merkezinde tarihi binaların ve ağaçların olduğu bir alandır. 2.bölge, ağaçlarla çevrili yüksek katlı binaların olduğu bir bölgedir. 3.bölge ise daha çok ağaçlık ve bağımsız alçak binaların olduğu bir alandır. Bu durum çalışmanın değişik şartlar altında nasıl sonuçlandığını görmemize de fırsat sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan ham ve filtrelenmiş nokta bulutu veri setlerine ilişkin bazı temel bilgiler Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Kullanılan ham ve filtrelenmiş nokta bulutu veri setlerine ilişkin temel bilgiler.

Test Alanı	Ham Nokta Bulutu			Yer Nokta Bulutu		
	Nokta Sayısı	Min. Z (m)	Mak. Z (m)	Nokta Sayısı	Min. Z (m)	Mak. Z (m)
ANS	45 196 871	1018,57	1077,76	36 674 621	1023,36	1051,15
Kampüsü						
İstanbul	586 391	27,15	127,65	256 126	27,51	52,63
LiDAR						
Bergama	6 264 220	61,34	95,92	2 314 237	61,81	79,63
(Nadir)						
Bergama	11 409 853	60,05	95,89	4 876 580	60,19	78,96
(Eğik)						
Bergama	1 266 046	61,73	95,30	849 135	61,69	78,68
(LiDAR)						
Vaihingen-1	108 747	261,18	296,85	53 318	267,22	284,88
(LiDAR)						
Vaihingen-2	206 374	251,85	295,58	97 691	251,85	267,40
(LiDAR)						
Vaihingen-3	198 445	259,15	284,85	101,905	260,49	272,22
(LiDAR)						

Çalışma kapsamında üretilen tüm YM’ler için metodoloji kısmında eşitlik 3.3 ile verilen yaklaşıma göre kabul edilebilir en düşük piksel boyutları hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Her bir test bölgesi için hesaplanan çözünürlük değeri bir birinden farklıdır. Bunun temel sebebi, test bölgelerinin alanlarının ve nokta sayılarının farklı olmasıdır. Birden fazla veri setinin olduğu Bergama bölgesi için de test alanı aynı olmasına rağmen veri setlerindeki nokta sayısı farklılığından dolayı farklı sonuçlar elde edilmiştir. Farklı test alanlarında ve farklı verilere uygulanan yöntemin tutarlılığının değerlendirilebilmesi için tüm hesaplanan değerlere en uygun bir çözünürlük seçilerek modeller üretilmiştir.

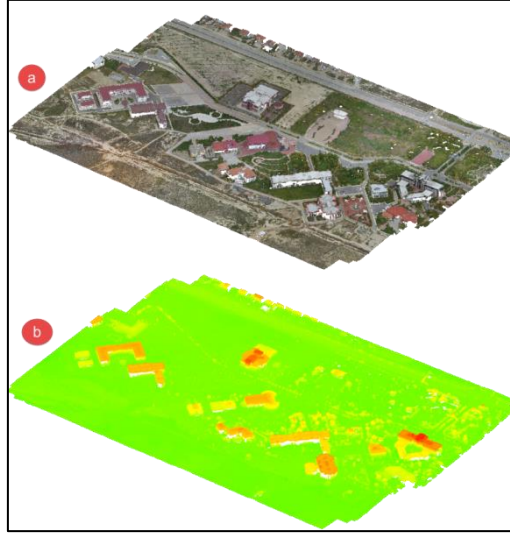
Çizelge 4. 5 Verilere ait çözünürlük değerleri.

Test Alanı	Alan (km²)	Nokta yoğunluğu (nokta/m²)	Hesaplanan Çözünürlük (cm)	Üretilen Çözünürlük (cm)
ANS Kampüsü	0,714	40,15	13	50
İstanbul LiDAR	0,077	7,62	36	50
Bergama (Nadir)	0,225	29,12	19	50
Bergama (Eğik)	0,225	37,62	14	50
Bergama (LiDAR)	0,225	5,96	42	50
Vaihingen-1 (LiDAR)	0,028	3,52	50	50
Vaihingen-2 (LiDAR)	0,039	5,28	43	50
Vaihingen-3 (LiDAR)	0,033	5,49	40	50

Hesaplamalar sadece ham nokta bulutu için yani YM için gerçekleştirilmiştir. Diğer yükseklik modellerini de kapsamı amacıyla tüm modeller için 50 cm çözünürlüğü kabul edilmiştir. Çünkü nYM üretimi sırasında görüntü tabanlı çıkarma işlemi yapabilmek için piksel boyutlarının aynı olması gerekmektedir. Analiz kısmında kullanılan referans veriler ise jeodezik yöntemlerle üretilmiş bina taban alanlarını içeren vektör formattaki haritalardır.

4.1 ANS Kampüsü Test Alanı

Bu çalışma kapsamında ilk uygulama Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'nde yapılmıştır. Kampüs alanında 700 x 1100 metre boyutlarında 0.714 km²'lik bir alan belirlenmiştir. Bu alanda 120 m yükseklikten DJI Phantom 3 Pro ile iki ardışık nadir uçuş yapılmıştır. Toplamda 477 fotoğraf elde edilmiştir. Fotoğrafların ortalama yer örnekleme aralığı (GSD) 4.13 cm'dir. Uçuş öncesi, araziye 8 YKN tesis edilmiş ve GPS ile koordinatları ölçülmüştür. Uçuşlar %70 bindirme oranıyla yapılmıştır. Fotoğraflar Pix4D yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Yapılan ışıın desteleri dengelemesine göre ortalama hata 0,119 pikseldir. Elde edilen nokta bulutunda 45 196 871 nokta bulunmaktadır (Şekil 4.1).



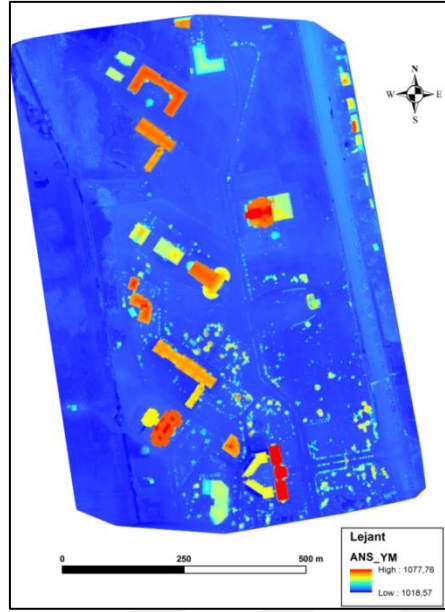
Şekil 4. 1 Kampüs test alanına ait gerçek renkli (a) ve yüksekliğe göre renklendirilmiş (b) ham nokta bulutu.

Üretilen nokta bulutu yükseklik modelleri üretimi için kullanılmıştır. Yer ve obje noktalarının ayrımı için öncelikle filtreleme yapılmıştır. Bu amaçla CSF algoritması kullanılarak ham nokta bulutu, obje ve yer noktaları olarak ikiye ayrılmıştır. Filtreleme parametreleri olarak 50 cm grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 0.3 m eşik değeri (CT) belirlenmiştir. Bu parametreler arazi eğimi ve nokta yoğunluğuna göre belirlenmektedir. Elde edilen yer noktaları Şekil 4.2 'de görülmektedir.



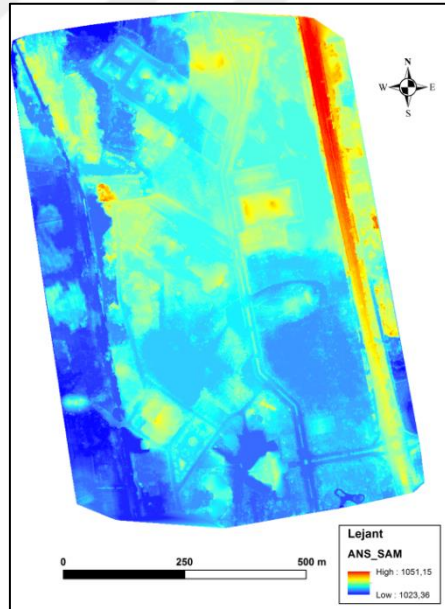
Şekil 4. 2 Kampüs test alanına ait yer (a) ve obje (b) noktaları.

YM en yakın komşuluk enterpolasyonu ile veri setindeki tüm nokta bulutu kullanılarak üretilmiştir. Üretilen YM Şekil 4.3 'te verilmiştir.



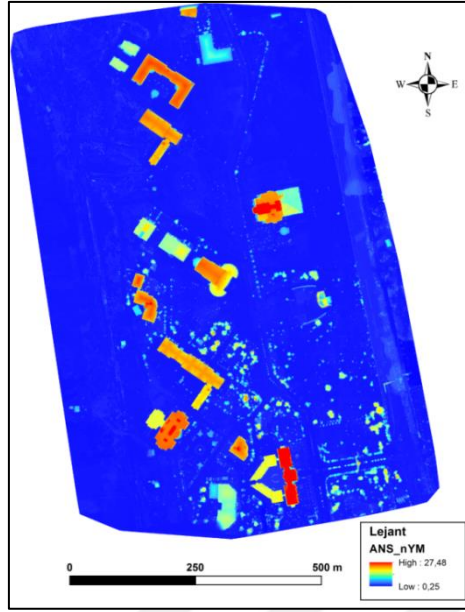
Şekil 4. 3 Kampüs test alanına ait YM.

Daha sonra ön işlemler ile filtrelenerek elde edilen yer noktaları SAM üretiminde kullanılmıştır. 50 cm çözünürlükte üretilen SAM Şekil 4.4'te görülmektedir.



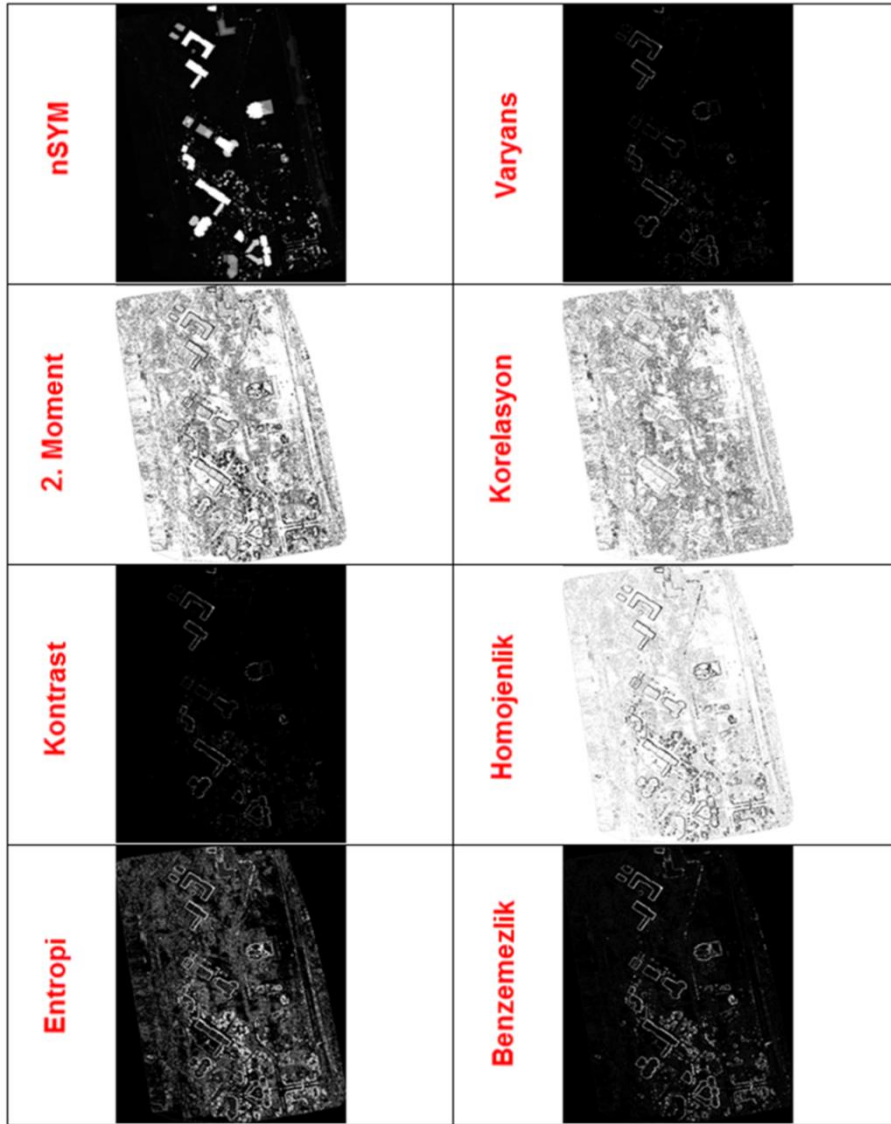
Şekil 4. 4 Kampüs test alanına ait SAM.

nYM ise üretilen YM ve SAM görüntülerinin farkıdır. Bu şekilde arazinin Z koordinatı yükseklik değerine dönüştürülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5 Kampüs test alanına ait nYM.

Elde edilen nYM üzerinde doku analizi yapabilmek için Haralick parametreleri üretilmiştir. Görüntüdeki gri seviye piksel değerlerinin mekânsal dağılım istatistiğine göre hesaplanan bu parametreler farklı bilgiler içermektedir ve literatürde farklı amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. ANS kampüs alanına ait üretilen parametreler Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4. 6 Kampüs test alanına ait nYM’den üretilen Haralick doku parametreleri.

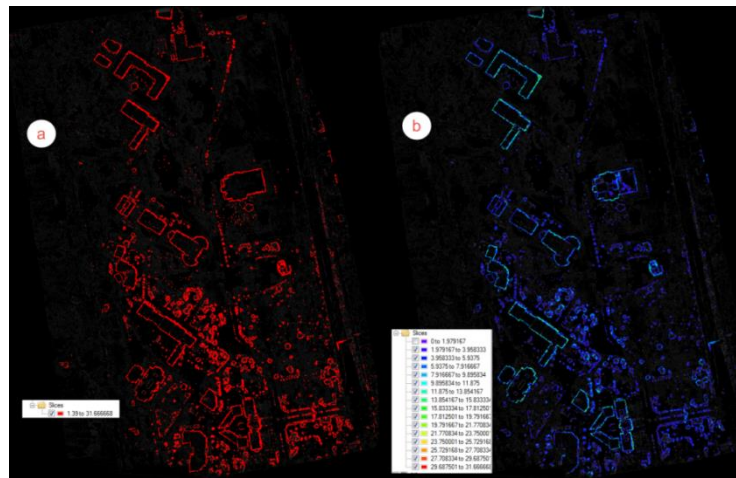
Şekil 4.6 ‘da görüldüğü üzere bina tespiti anlamında yorumlanmaya en uygun olan doku parametreleri Varyans, Kontrast ve Benzemezlik parametreleridir. Diğer parametrelerde binalar belli olmasına rağmen çok fazla detay içermektedir. Objelerin ve binaların kendi içerisinde de detay ayırımına girerek çok parçalı bir sonuç elde edilmektedir. Varyans ve Kontrast ise Ek 1’de verilen krokideki 1. bina gibi bazı düşük yükseklikli binaları ve parçalı binaların düşük seviyelerini vermemektedir. Benzemezlik parametresi ise binaları Kontrast ve Varyansa göre çatıdaki detayları bina sınırına katmadan, sadece bina sınırlarını bir bütünlük içerisinde tespit etmektedir. Diğer parametrelere göre de arazideki detayları daha az tespit ettiği için binalar müstakil olarak korunabilmektedir. Bu sebeple çalışmalara Benzemezlik parametresi üzerinden devam edilmiştir. Zaten

Paçlık vd. (2005) Benzemezlik parametresinin daha kullanışlı olabileceğini belirtmişlerdir. Kampüs test alanına ait Benzemezlik parametresi Şekil 4.7’de görülmektedir.



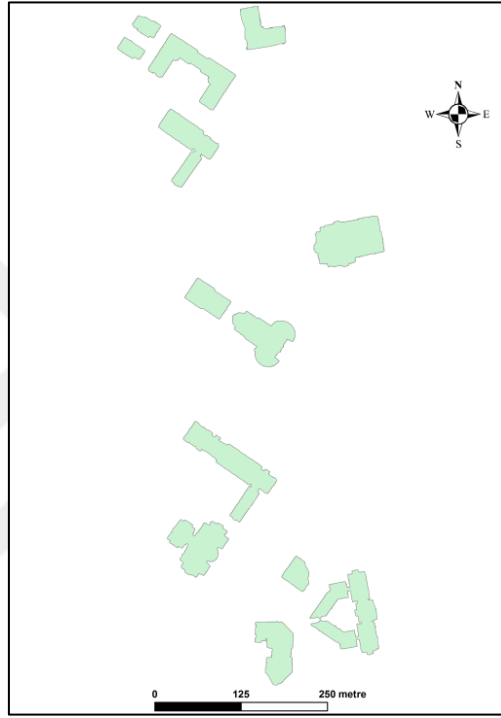
Şekil 4. 7 Kampüs test alanına ait Haralick Benzemezlik doku parametresi.

Binaları vektör formatta elde etmek için renk dilimleme kullanılmıştır. Otomasyon ve standart bir uygulama elde etmek amacıyla sadece ortalama değerden bir standart sapma fazlası alınarak bütünlük bir renk bölümlenmesi elde edilmiştir. Bu şekilde istatistiksel olarak %86 olasılıkla binalar seçilmiştir (Şekil 4.8).



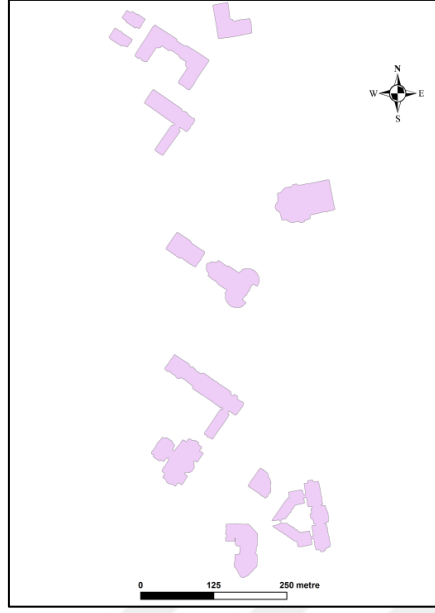
Şekil 4. 8 Benzemezlik doku parametresinin kullanıcı kararlı (a) ve otomatik (b) renk dilimlemesi.

Hiçbir binayı kaybetmemek için dikkatli edilmelidir çünkü renk dilimleme sırasında bina olmayan objelerde çıkmaktadır. Bunlar daha çok yüksek ağaçlar ve açık arazideki küçük ağaçlardır. Ama bu şekilde tüm binalar bağımsız olarak korunabilmiştir. Renk dilimleme sonucu bina izdüşüm alanları vektör formata çevrilmiştir. Vektör dosyada binalar kullanıcı kararıyla seçilip diğer objelerde ayrılmış ve sadece binalar elde edilmiştir (Şekil 4.9).



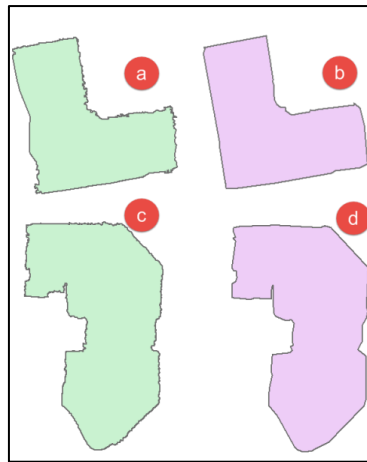
Şekil 4. 9 Kampüs test alanına ait Benzemeziklik doku parametresinden elde edilen ilk bina izdüşüm alanları.

Üretilen bu ilk bina izdüşüm alanları, her ne kadar Şekil 4.9’da belli olmasa da, sayısal ortamda çok zikzaklı ve pürüzlüdür. Bunun en temel sebebi görüntüden yani pikselden vektöre dönüşüm yapılmasıdır. Bu sebeple ilk üretilen bu bina izdüşüm alanları basitleştirme işleminden geçirilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.

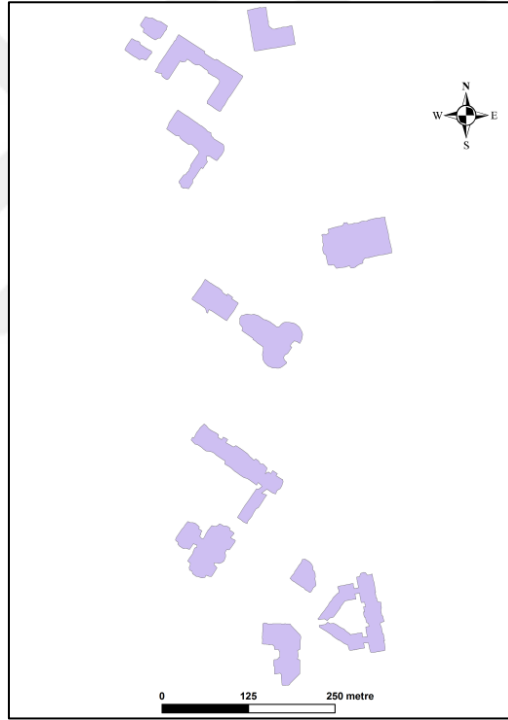
Basitleştirme işlemi için başka çalışmalarda önerilen bir eşik değeri bulunamamıştır. Bu sebeple deneysel olarak 50 cm, yani bir piksel eşik değerinin daha uygun olduğu görülmüştür. Basitleştirme işlemi için kullanılan Douglas-Peucker yöntemi, veri setinden eşik değeri aşan noktaları atarak çalışan bir sistemdir. Bu sebeple orijinal bulunan bina izdüşüm alanlarının da çok değişmemesi için 50 cm uygun görülmüştür. Zaten uygulama sırasında daha büyük bir değerde alanın geometrik şekli bozulurken daha küçük bir değerde anlamlı bir düzelme de elde edilememiştir. 50 cm eşik değerinin etkisi Şekil 4.11’de bulunan iki örnek binada daha yakın plandan görülebilir.



Şekil 4. 11 Zikzaklı taban alanları (a ve c) ve basitleştirme işlemi sonucunda elde edilen alanlar (b ve d).

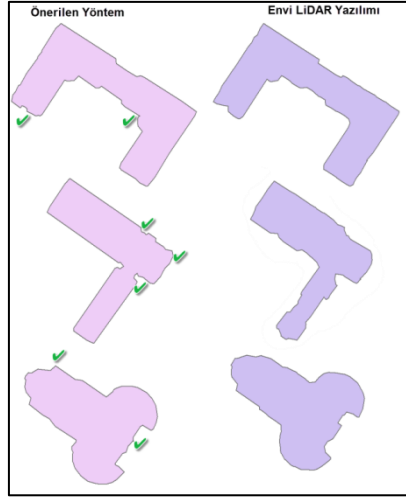
Yeşil renkler basitleştirme öncesi, pembe renkler ise basitleştirme sonrası binaları ifade etmektedir. Basitleştirme işlemi tamamen mükemmel olamamakla beraber, görüldüğü gibi ilk izdüşüm alanlarındaki zikzaklı yapı ve pürüzler giderilirken binanın ilk bulunan geometrik şeklinden de bir kayıp olmaması sağlanmıştır.

Nokta bulutlarından elde edilen bina alanlarının başarısını karşılaştırma amacıyla kampüs verisi, Envi LiDAR ticari yazılımında da işlenmiştir. Bu yazılım, LiDAR verisi işleyen YM, SAM gibi yükseklik modelleri üretmesinin yanında birçok yazılımda dâhili bir seçenek olarak bulunmayan bina ve enerji nakil hatlarını da tespit etmektedir. Envi LiDAR yazılımıyla elde edilen bina izdüşüm alanları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4. 12 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen kampüs test alanına ait bina izdüşüm alanları.

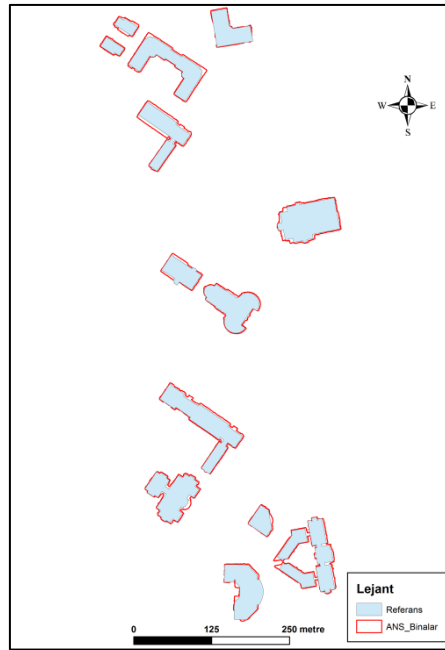
Kampüste bulunan binalarda eklentiler, girinti ve çıkıntılar bulunmaktadır. Envi yazılımında üretilen bina izdüşüm alanları tüm binaları bulmakla beraber şekilsel olarak kenarları daha yumuşak geçmektedir. Bu da köşelerin kaybolmasına ve şeklin kısmen bozulmasına neden olmaktadır. Uygulanan yöntem ve Envi sonuçları daha yakından Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4. 13 Önerilen yöntem ve Envi LiDAR yazılımının karşılaştırması.

Envi yazılımı binaları sayısal olarak doğru sayıda ve konumunda tespit edebilmesine rağmen, detaylar konusunda sıkıntılar görülmektedir. Şekil 4.13'te özellikle işaretli detaylara dikkat edilecek olursa, Envi yazılımında bu detayların ya bulunamadığı ya da aşırı yumuşatılarak binaların şeklinin bozulduğu görülecektir.

Önerilen yöntem ile üretilen izdüşüm alanları, kampüse ait referans veriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4. 14 Kampüs test alanına ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

Görüldüğü gibi tüm binalar doğru konumunda ve yersel ölçmelerle üretilmiş referans veri ile benzer şekildedir. Fakat üretilen alanlar referanstan taşmış durumdadır. Bunun en temel sebebi referans veride binaların araziye oturduğu alanlar bulunurken, üretilen bina alanları nadirden gördüğü tüm alanları almaktadır. Yani üretilen alanlar, çıkma, kapı üstü yağmurluklar ya da çatı kenarları gibi binaya yapılan tüm eklemeleri içermektedir. Tüm bu eklemeler doğruluk hesabını da doğrudan etkilemektedir. Görsel karşılaştırmadan sonra numerik sonuçlar elde etmek için üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve kalite hesaplamaları yapılmıştır. Doğruluk hesaplamaları için 3.13, 3.14 ve 3.15 eşitlikleri kullanılmış ve kampüs alanına ilişkin elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 Kampüs test alanına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

Kampüs	(%)
Üretici Doğruluğu	98,84
Kullanıcı Doğruluğu	87,40
Kalite	86,45

Üretici doğruluğunu etkileyen en temel faktör bulunan modelde referans veri ile çakışmayan alanlardır. Önerilen metot binaları doğru bulmakta fakat binalarla beraber çatı çıkmaları, sundurmalar ve bina girişlerindeki kapı üstü eklentileri gibi objelerde bina alanına dâhil edilmektedir. Bu alanlar referans veride bulunmadığı için model izdüşüm alanı bir anlamda referans veri kapsayıcı durumdadır. Bu durum kaliteyi de olumsuz etkilemektedir. Çalışma kapsamındaki kampüs test alanda bulunan binaların krokileri Ek.1’de ve hesaplamaları Ek.2’de bulunmaktadır.

Tespit edilen bina alanları için yapılan analizler dışında, üretilen SAM’lara ait yükseklik değerleri için de KOH hesaplanmıştır. Bu amaçla arazide GPS ile ölçülmüş 12 adet noktanın Z değerleri ve bunlara karşılık gelen SAM değerleri kullanılarak karesel ortalama hesaplanmıştır (Çizelge 4.7).

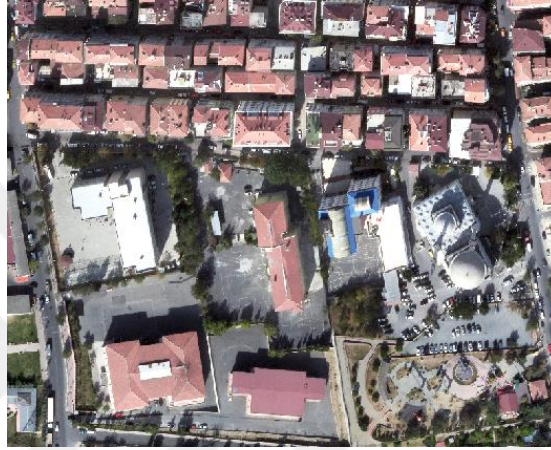
Çizelge 4. 7 Kampüs alanına ait SAM için hesaplanan KOH (m).

N.No.	Z_{GPS}	Z_{SAM}	D_Z
1	1047,974	1047,951	0,023
2	1048,426	1048,397	0,029
3	1048,698	1048,717	-0,01
4	1047,999	1047,966	0,033
5	1048,384	1048,334	0,050
6	1048,074	1048,059	0,015
7	1048,420	1048,440	-0,019
8	1047,880	1047,839	0,040
9	1047,920	1047,868	0,052
10	1048,079	1047,960	0,118
11	1047,394	1047,380	0,014
12	1049,168	1049,079	0,089
KOH			0,054

Çizelge 4.7’da verilen Z_{GPS} GPS ile ölçülen kontrol noktalarını, Z_{SAM} üretilen SAM’da ölçülen noktaları ve D_Z ise bu ikisi arasındaki farkı ifade etmektedir. Yapılan hesaplama sonucunda kampüs test bölgesine ait Z koordinatları KOH değeri 5,4 cm bulunmuştur.

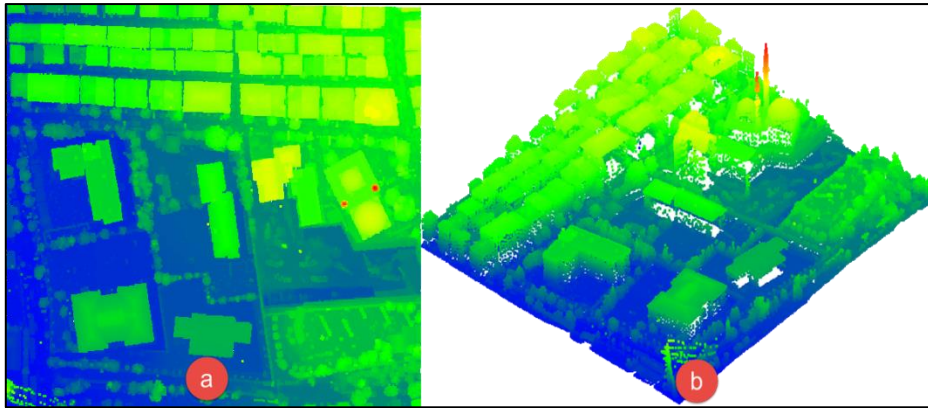
4.2 İstanbul Test Alanı

Çalışma kapsamında ikinci uygulama, İstanbul Yeni Bosna ilçesinde belirlenen bir alana ait LiDAR nokta bulutu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.15). Çalışma alanında bitişik nizam ve çok yakın binalar bulunmaktadır. Ayrıca farklı geometrik şekle sahip binalar ile bir de camii mevcuttur. Çalışma alanında yüksek ve binalara yapışık denecek kadar yakın ağaçlar da bulunmaktadır.



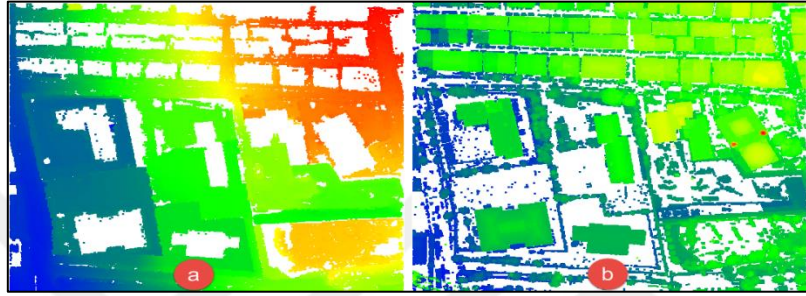
Şekil 4. 15 İstanbul test alanına ait hava fotoğrafı.

LiDAR verisi İstanbul Büyük Şehir Belediyesine bağlı Bimtaş şirketinin Riegl marka lazer tarayıcıyla 1000 m yükseklikten elde edilmiştir. 2012 yılın ait olan bu verinin ham nokta bulutunda 586 391 nokta bulunmaktadır. Nokta bulutunun nadirden ve profilden görünümü Şekil 4.16’da verilmiştir. Bu veri seti aykırı değerleri filtrelenerek geldiği için aykırı değer filtrelemesi uygulanmamıştır.



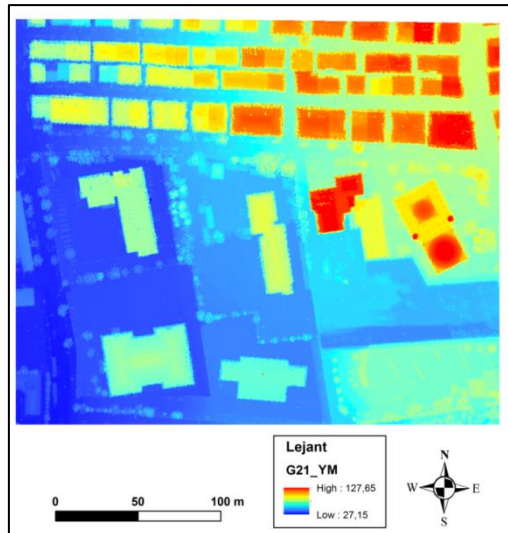
Şekil 4. 16 İstanbul test alanına ait ham nokta bulutunun üstten (a) ve yandan (b) görünüşü.

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yükseklik modellerini üretmeden önce ham nokta bulutunun yer ve obje noktalarının ayrılması işlemi yapılmıştır. Bu amaçla CSF algoritması kullanılarak ham nokta bulutu obje ve yer noktaları olarak ikiye ayrılmıştır. Filtreleme parametreleri olarak 1 m grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 50 cm eşik değeri (CT) belirlenmiştir. Bu parametreler veri setinin yoğunluğuna ve arazi ve obje durumuna göre belirlenmiştir. Ayrımı yapılan yer ve obje noktaları Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4. 17 İstanbul test alanına ait yer (a)ve obje (b) noktaları.

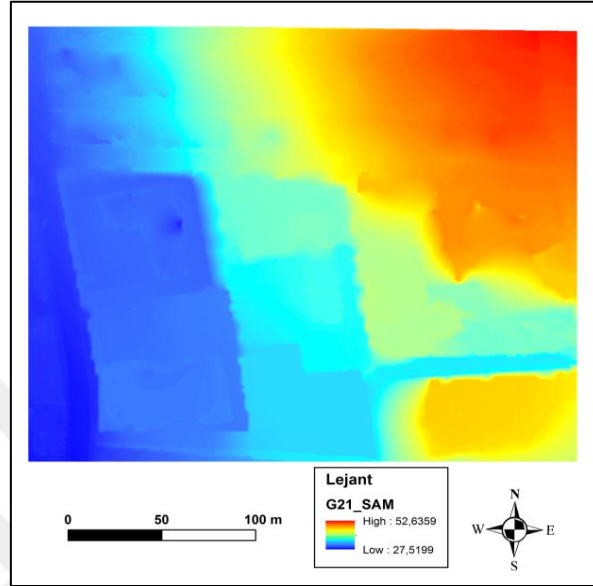
Ham nokta bulutu YM üretimi için kullanılmıştır. Nokta bulutundan görüntü verisine geçiş için en yakın komşuluk enterpolasyonu kullanılmıştır. Bu veri seti için hesaplanan çözünürlük değeri 36 cm’dir. Üretilen YM ise 50 cm çözünürlüğündedir (Şekil 4.18).



Şekil 4. 18 İstanbul test alanına ait YM.

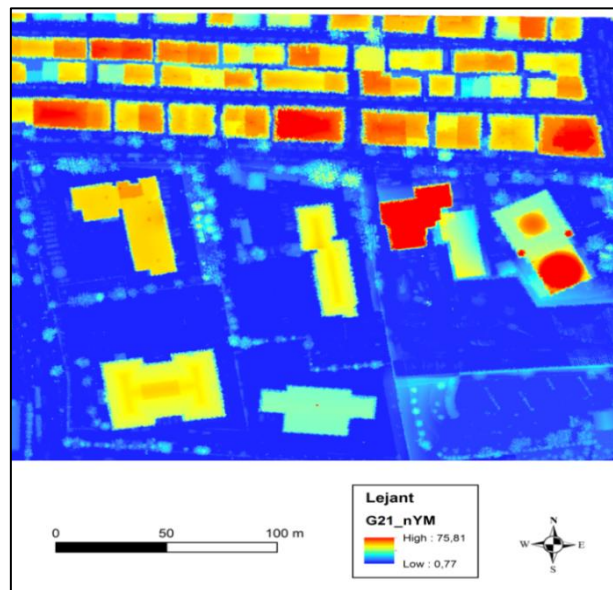
Farklı yükseklikteki binalar, ağaçlar ve binaların şekilleri üretilen YM’de açıkça

görülmektedir. YM ‘de olduğu gibi, CSF algoritmasıyla elde edilen yer noktaları kullanılarak en yakın komşuluk enterpolasyonu ile 50 cm çözünürlükte SAM üretilmiştir (Şekil 4.19).



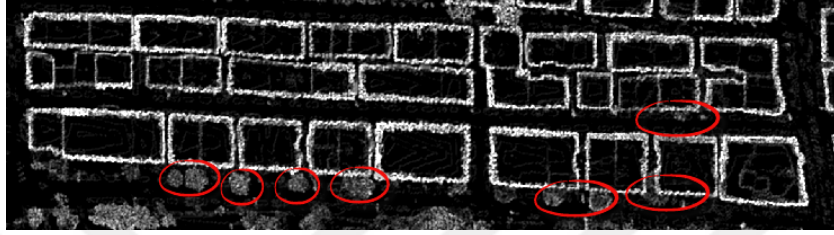
Şekil 4. 19 İstanbul test alanına SAM.

Üretilen SAM’da test alanının eğim durumu ve arazinin yükseklik farkı açıkça görülmektedir. YM ve SAM görüntülerinin farkı alınarak üretilen nYM ise Şekil 4.20 ‘de verilmiştir.



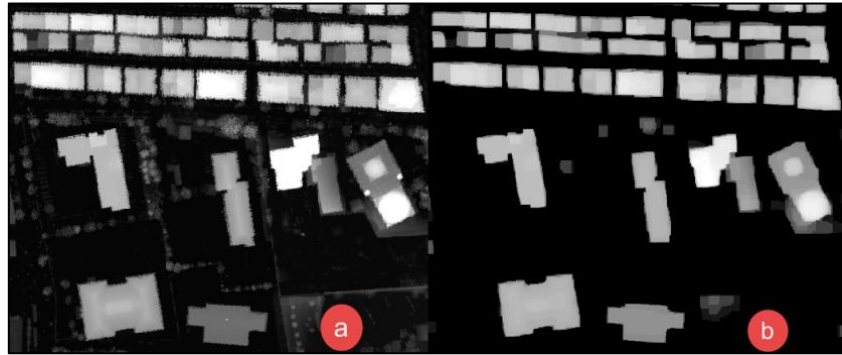
Şekil 4. 20 İstanbul test alanına ait nYM.

İstanbul test alanı ANS kampüsü test alanından farklı özelliklere sahiptir. Bu bölgede binalar bitişik nizamda ve bir birine çok yakındır. Ayrıca binalara yakın çok sayıda yüksek ağaçların olması da doku analizindeki bina sınırlarını ağaçlar ile birleştirmektedir. Bu durum, Benzemezlik doku parametresinde de kendini göstermektedir. Şekil 4.21’de, üretilen Benzemezlik doku görüntüsünde ağaçların binalara yapışık olduğu belirgindir.



Şekil 4. 21 İstanbul test alanına ait Benzemezlik doku parametresi.

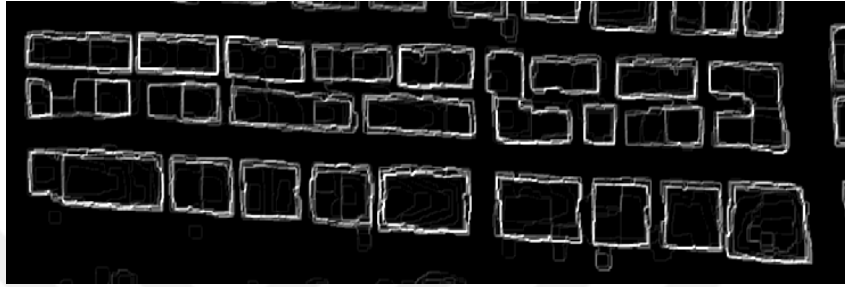
Ağaç sınırlarının bina sınırlarına yapışık çıkması, otomasyonu bozmakta ve ağaçların temizlenmesi için kullanıcı kararı gerektirmektedir. Matematiksel morfoloji işlemlerinden Aşınma operatörü nYM görüntüsüne uygulanmıştır. Bu şekilde sınırlar belirginleştirilmiş ve ağaçlar ile diğer bazı objeler filtrelenerek daha keskin sınırları olan binalar elde edilmiştir. Aşınma operatörü uygulamadan öncesi ve sonrasına ait nYM sonuçları Şekil 4.22 ‘de verilmiştir.



Şekil 4. 22 Morfolojik işlemlerden önce (a) ve sonra (b) nYM.

Görüldüğü gibi Aşınma operatörü neredeyse tüm ağaçları temizlemiş ve bina kenarlarında gürültü olarak kalan ve kenarın doğrusallığını bozan pikselleri filtreleyerek daha düzgün sınırların oluşmasını sağlamıştır. Bu nokta da dikkat edilmesi gereken

konu kernel boyutudur. Aşınma operatöründe binaların sınırlarının bozulmaması, aynı zamanda binalara yakın olan ağaçların da ayrılması için küçük boyutlu kernel kullanılmıştır. Kernel boyutu artınca ağaçlar tamamen filtrelenmekte fakat aynı zamanda binaların geometrik şekilleri de aşınarak bozulmaktadır. Bu sebeple çalışmada 3x3 kernel kullanılmıştır. Şekil 4.23'te Aşınma operatörü sonrası elde edilen Benzemezlik parametresi görülmektedir.



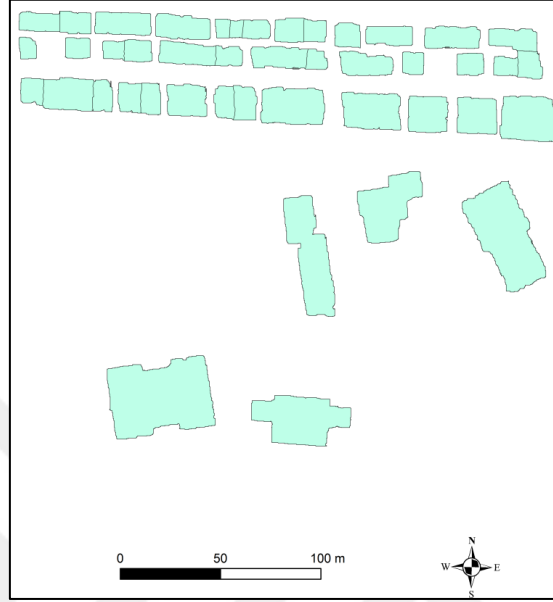
Şekil 4. 23 Morfolojik işlemlerden sonra üretilmiş Benzemezlik doku parametresi.

Morfolojik Aşınma operatörü, ağaçları filtreleme dışında bina alanlarını da düzelttiği gözlenmiştir. Bu durum özellikle Aşınma öncesi ve sonrası bina izdüşüm alanlarının vektör formatta elde edilmesinde daha net görülmektedir. Test alanındaki binalar, renk dilimleme ile vektör formatta üretilmiştir. Morfolojik Aşınma operatörü uygulanmadan önce elde edilen bina izdüşüm alanları Şekil 4.24'te görülmektedir.



Şekil 4. 24 Morfolojik işlemlerden önce üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.24'te kırmızı daire ile işaretli alanlarda ağaçların binalara yapışık durumu ve bir birine çok yakın binaların birleşmesi açık bir şekilde görülmektedir. Morfolojik işlemden sonra elde edilen bina alanları ise Şekil 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4. 25 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.25'te ağaçların binalardan ayrıldığı ve bazı yakın binaların bağımsız hale geldiği görülmektedir. Kampüs test alanında uygulandığı gibi çok zikzaklı ve pürüzlü olan bina izdüşüm alanları basitleştirilmiştir (Şekil 4.26). Basitleştirme işleminde eşik değeri yine bir piksel boyutu olan 50 cm olarak uygulanmıştır.



Şekil 4. 26 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.

Karşılaştırma amacıyla İstanbul test alanı LiDAR verisi Envi yazılımında da işlenmiş ve bina izdüşüm alanları bu yazılımdan da elde edilmiştir (Şekil 4.27).

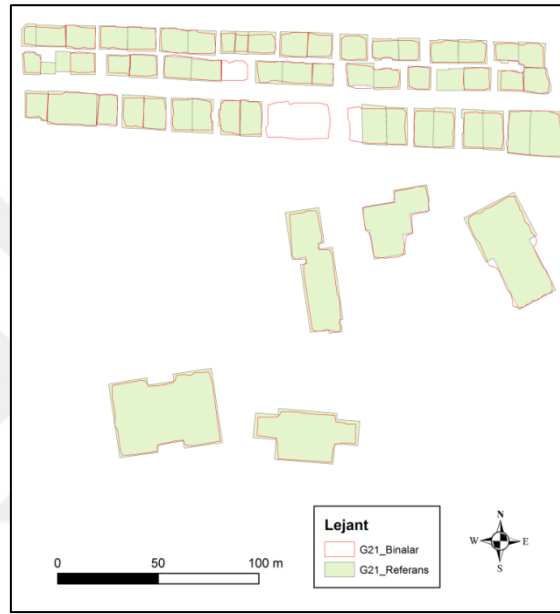


Şekil 4. 27 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen İstanbul test alanına ait bina izdüşüm alanları.

Envi yazılımı ağaçları ayırmada büyük oranda başarılıdır. Binaların çoğunu konumlarında tespit etmede başarılıdır, fakat bitişik nizam binaları ayırmada önerilen metottan daha az başarılıdır. Önerilen metotta 44 bina tespit edilebilirken Envi

yazılımında 35 bina bulunabilmiştir. Yani Envi yazılımı bazı bitişik nizam binaları tek bina olarak algılamıştır. Ayrıca şekil doğruluğu anlamında da önerilen metodun daha başarılı olduğu açıktır. Bitişik nizamda olan binaları şekillerini bozarak ayırmakta ve camiye minarelerinden ve kubbesinden dolayı farklı binalar olarak bulmaktadır.

Önerilen yöntem ile üretilen izdüşüm alanları İstanbul test alanına ait referans veriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.28).



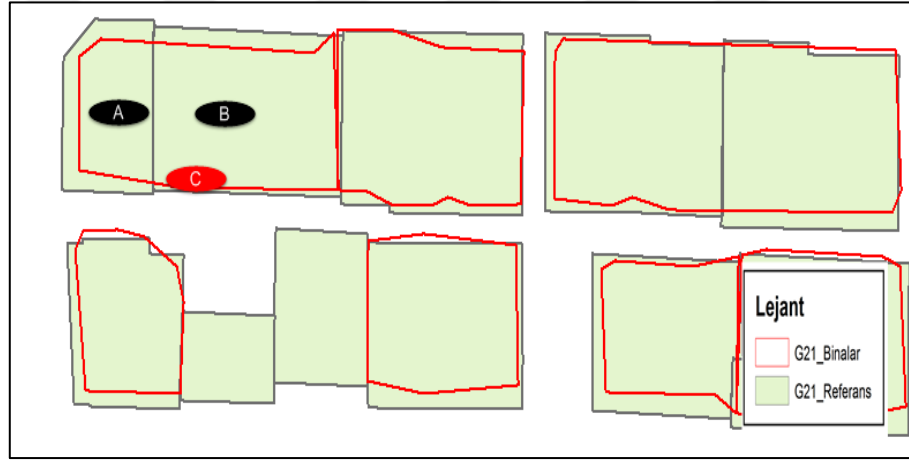
Şekil 4. 28 İstanbul test alanına ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

İstanbul test alanında, üretilen izdüşüm alanları bu referans veriyi kapsamamaktadır. Bu durumun Aşınma operatöründen kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat bulunan binaların referans ile şekilsel uyumu ve konumu yüksek doğrulukta görülmektedir. Referans veri ve LiDAR verisi arasında zaman farkı bulunmaktadır. Bu zaman farkı sırasında yıkılan ve yapılan binalar olduğu görülmektedir. Bu sebeple doğruluk hesapları sadece örtüşen binalar üzerinden yapılmıştır. İstanbul test alanı için üretilen SAM'a ait KOH hesabı, referans veri temin edilemediği için yapılamamıştır. Diğer hesaplanan doğruluk sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 İstanbul test alanına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

İstanbul	(%)
Üretici Doğruluğu	85,61
Kullanıcı Doğruluğu	98,24
Kalite	84,23

Hesaplamalarda ayrımı sağlanamayan bitişik nizamdaki binalar tek bina kabul edilmiştir. Çünkü üretilen modelin referansa uydurulması kullanılan metodolojinin doğruluğunu etkileyeceği düşünülmüştür. Bu sebeple referans binaları da tek bina sayılarak hesaba bu şekilde katılmıştır. Bu nokta da yapılan birleştirme orijinal referans veride değildir. Sadece doğruluk hesaplarında kullanılan alanlara ilişkindir. Şekil 4.29 da verilen örnek alanlarla ifade edilebilir.



Şekil 4. 29 İstanbul test alanına ait doğruluk hesaplamasında izlenen yöntem.

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi yeşil dolgulu alanlar referans veriyi, kırmızı poligonlar ise üretilen modeli göstermektedir. Referansta A ve B olarak gösterilen iki bina, modelde tek bina yani C olarak bulunmuştur. Doğruluk hesabında C model binasını A ve B’ye uydurmak için otomasyon dışına çıkarak ikiye bölmek yerine, C binasının referans karşılığı olarak A+B toplam alanı alınmıştır. A ve B binalarının bitişik nizam olması sınır anlamında böyle bir yaklaşımın hesaplamaları etkilemeyeceği düşünülmüştür. Sonuçta ortalama olarak %85,6 üretici ve %98,2 kullanıcı doğruluğuna ulaşılmıştır. Bu bölge için tüm alanlara ait ortalama kalite değeri de %84,2 olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamındaki İstanbul test alanda bulunan binaların krokileri Ek.3’te ve hesaplamaları Ek.4’te bulunmaktadır.

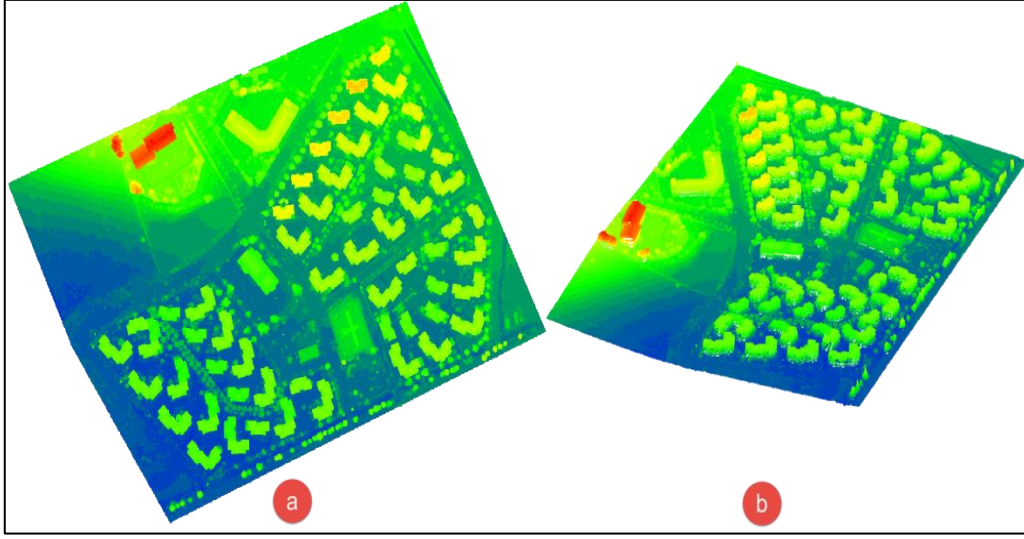
4.3 Bergama Test Alanı

Çalışma kapsamındaki üçüncü uygulama, İzmir Bergama ilçesinde belirlenen test alanında yapılmıştır. Bergama test alanı için LiDAR nokta bulutu ile Nadir ve Eğik hava fotoğraflarından üretilmiş nokta bulutu veri setleri temin edilmiştir. Bergama ilçesi Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından test alanı olarak kullanılmaktadır. HGK, 2015 yılında Riegl marka lazer tarayıcıyla 1200 m yükseklikten topladıkları LiDAR verisini araştırmacıların kullanımına açmıştır (Kayı vd. 2015). HGK'dan temin edilen veriler Bergama ilçesini de içeren çok büyük bir alan olduğu için uygulama 500x450 m'lik bir alanda yapılmıştır (Şekil 4.30). Bergama test alanında çoğunluklu aynı tipte binalar ve bu binalara çok yakın ağaçlar mevcuttur.



Şekil 4. 30 Bergama test alanına ait Google Earth görüntüsü.

Uygulamada ilk adım olarak ham LiDAR verisinin aykırı değerlerden temizlenmesi işlemi yapılmıştır. Seçilen alandaki nokta sayısı 1 461 947 iken, aykırı değerlerin filtrelendiğiyle geriye kalan nokta sayısı 1 266 046 olmuştur. Aykırı değerlerden temizlenmiş LiDAR nokta bulutu Şekil 4.31 'de verilmiştir.

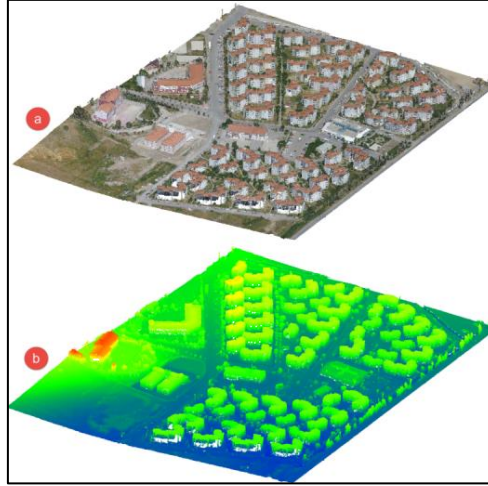


Şekil 4. 31 Bergama test alanına ait ham LiDAR nokta bulutunun üstten (a) ve yandan (b) görünüşü.

Görüntü tabanlı nokta bulutu için çekilen Nadir ve Eğik hava fotoğrafları Pix4D yazılımında ayrı ayrı işlenmiştir.

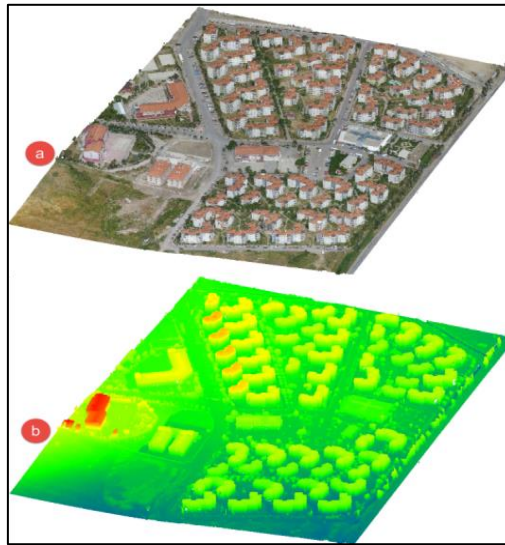
Nadir uçuş Mayıs 2017’de 120 m yükseklikten yapılarak toplamda 420 fotoğraf elde edilmiştir. Fotoğrafların ortalama GSD değeri 4.41 cm’dir. Uçuş öncesi, araziye 7 adet YKN tesis edilmiş ve GPS ile koordinatları ölçülmüştür. %70 bindirme oranıyla yapılan uçuşlarda yüksek örtüşme oranları elde edilmiştir. Yapılan ışın desteleri dengelemesine göre ortalama hata 0,128 pikseldir.

Test alanına ait üretilen nokta bulutunda toplam 6 264 220 nokta bulunmaktadır. Nadir uçuş ile üretilen nokta bulutunun gerçek renkli ve yüksekliğe göre renklendirilmiş ham nokta bulutu Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4. 32 Bergama test alanına Nadir uçuşa ait gerçek renkli (a) ve yüksekliğe göre renklendirilmiş (b) ham nokta bulutu.

Aynı bölgede yine Mayıs 2017’de yapılan eğik uçuşta da benzer şekilde 120 m’den uçulmuş ve 415 fotoğraf elde edilmiştir. Fotoğrafların ortalama GSD değeri 7.59 cm’dir. Uçuş öncesi, araziye tesis edilen 7 adet YKN ile veriler referanslandırılmıştır. Nadir uçuşta olduğu gibi %70 bindirme oranıyla fotoğraflar elde edilmiştir. Yapılan ışın desteleri dengelemesine göre ortalama hata 0,117 pikseldir. Toplam 415 fotoğraf kullanılarak görüntü tabanlı nokta bulutu üretilmiştir. Test alanına ait yoğun nokta bulutunda toplam 11 409 853 nokta bulunmaktadır. Eğik uçuş ile üretilen nokta bulutunun gerçek renkli ve yükseklik kodlu ham nokta bulutu Şekil 4.33’te verilmiştir.



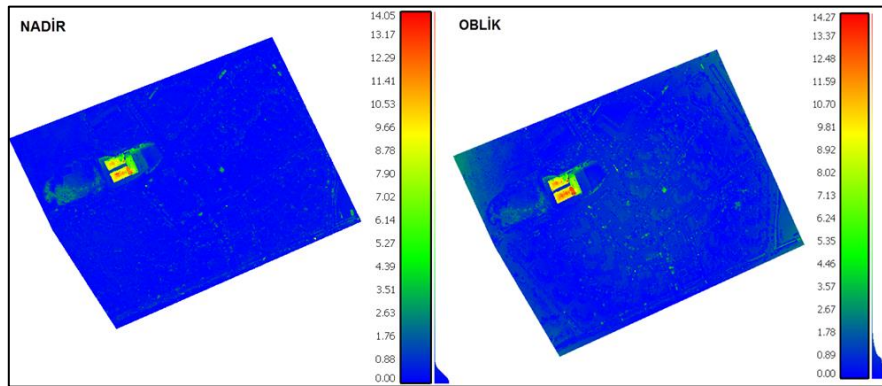
Şekil 4. 33 Bergama test alanına ait Eğik uçuşa ait gerçek renkli ve yüksekliğe göre renklendirilmiş ham nokta bulutu.

Eğik nokta bulutu daha fazla sayıda nokta içermektedir. Doğal olarak yoğunluğu daha fazladır. Bunun temel sebebi Eğik uçuşta objelerin yan yüzlerinin daha fazla görülebilmesi ve buralarda nokta üretilebilmesidir. Nokta yoğunluklarıyla ilgili bölüm başında verilen Çizelge 4.5’e bakılabilir. Görüntü tabanlı her iki verinin uçuşuna ait temel bilgiler özet olarak Çizelge 4.9’de verilmiştir.

Çizelge 4. 9 Nadir ve Eğik uçuşlara ait bilgiler.

	Nadir	Eğik
Uçuş yüksekliği	120	120
Bindirme oranı	%70	%70
Fotoğraf sayısı	420	415
Yer örnekleme aralığı (cm)	4,41	7,59
Yer kontrol noktası	7	7
Eşlenik nokta sayısı	208 682	227 614
Toplam nokta sayısı	6 264 220	11 409 853

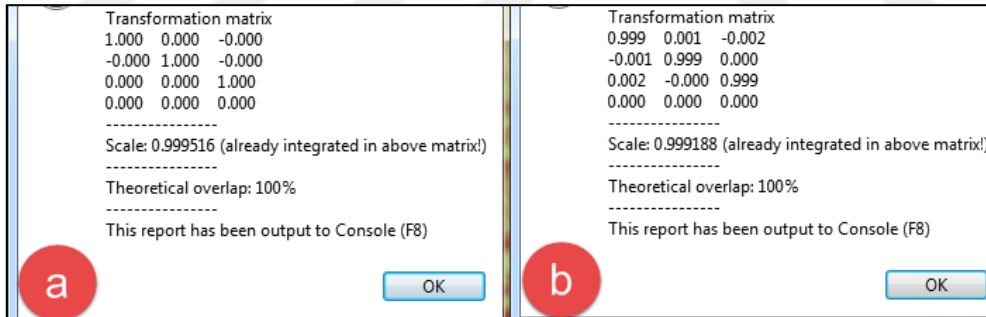
Görüntü tabanlı nokta bulutlarında LiDAR verisinde olduğu gibi, aykırı değer durumu yoktur. Fakat LiDAR ve görüntü tabanlı nokta bulutları arasındaki zaman farkı sebebiyle, test alanında değişen objeler mevcuttur. Bu sebeple uygulama sırasında veri setleri arasında bağdaştırma işleminden önce veriler arasındaki mesafelere bakılmıştır. Bunun için LiDAR nokta bulutu referans alınarak noktadan noktaya ya da point-to-point diye tabir edilen veriler arası mesafe ölçme işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda maksimum uzaklığa sahip noktalar bulunmuştur (Şekil 4.34).



Şekil 4. 34 Bergama test alanına ait Nadir ve Eğik nokta bulutlarının LiDAR nokta bulutuna uzaklıkları (m).

Veriler arası mesafe ölçümü LiDAR verisi referans alınarak Nadir ve Eğik için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 4.34'te görüldüğü gibi bölgede yapılan yeni bir bina LiDAR verisinde mevcut değildir. Bu sebeple Nadir verisinde 14.05 m ve Eğik verisinde 14.27 m maksimum bir fark çıkmaktadır. 0 ile 1 m dolaylarındaki farklar bitki örtüsü ve küçük ağaçlardan, 1 m'den büyük ve ortalama 14 m arasındaki farklar ise büyük ağaçlar ve binaya ait duvarlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunların dışında bölgede 3 m derinliğinde LiDAR verisinde olmayan fakat uçuş verilerinde olan yeni bir kazı alanı da mevcuttur. Veri setleri arasındaki zaman farkı sırasında test alanında meydana gelen bu değişimler bağdaştırma işleminin doğruluğunu düşürmektedir.

Bağdaştırma işlemi İEYN algoritması ile farklı iterasyon ve nokta sayıları için denenmiştir. Çünkü literatürde de geçtiği üzere nokta sayısı ve iterasyon sayısının artırılması, zaman alsa da hatayı düşürmektedir. Sonuçta 100 iterasyon ve 1000000 noktanın üstünde anlamlı değişiklik elde edilemediği için bu parametrelerde işlemler bırakılmıştır. Nadir ve Eğik verilerinin bağdaştırılması için 100 iterasyon ve 1000000 nokta ile elde edilen dönüşüm matrisleri Şekil 4.35'te verilmiştir

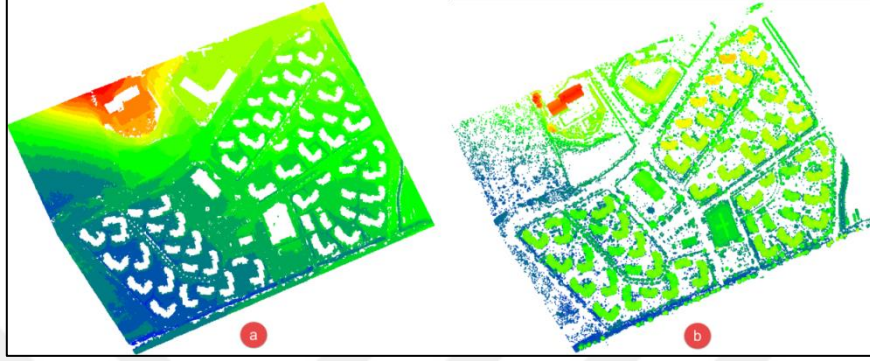


Şekil 4. 35 Bağdaştırma işlemi sonucunda elde edilen (A) Nadir ve (B) Eğik nokta bulutlarına ait KOH ve dönüşüm matrisleri.

Bağdaştırma işlemi bina izdüşüm alanlarının şeklini etkilememekte fakat fiziksel olarak objelerin arazideki yerini etkilemektedir. Bu durum da referans veri ile örtüşmeyi doğrudan etkileyerek hesaplanacak olan doğruluk parametrelerini ve Z koordinatlarına ait KOH'u çok az da olsa etkilemektedir.

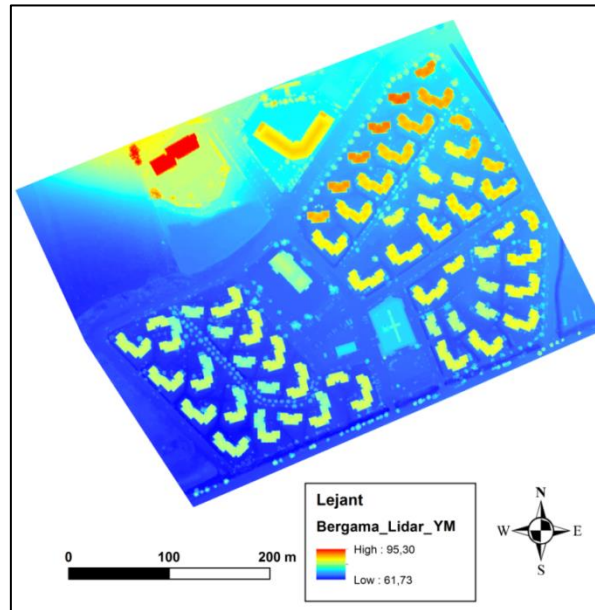
4.3.1 Bergama Test Alanı LiDAR Nokta Bulutu

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yükseklik modellerini üretmeden önce, ham nokta bulutunun yer ve obje noktaları birbirinden ayrılmıştır (Şekil 4.36).



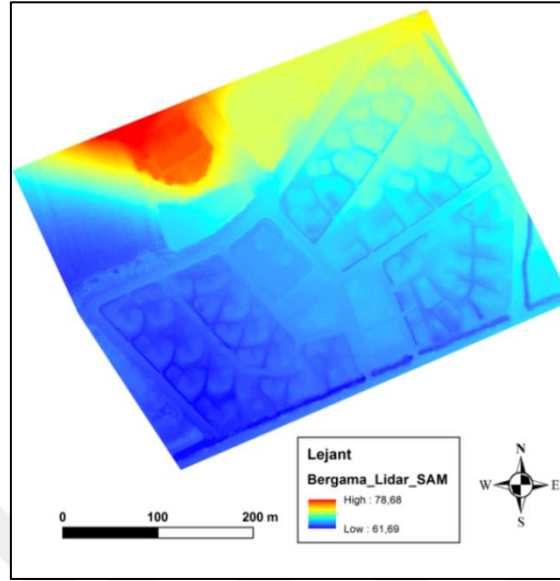
Şekil 4. 36 Bergama-LiDAR verisine ait yer (a) ve obje (b) noktaları.

Filtreleme işlemi, 1 m grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 0.2 m eşik değeri (CT) parametreleri ile CSF algoritması kullanılarak yapılmıştır. Bu parametreler veri setinin nokta yoğunluğu ve topografyanın durumuna göre belirlenmiştir. Ham nokta bulutu en yakın komşuluk enterpolasyonu ile 50 cm çözünürlüğündeki YM üretimi için kullanılmıştır. Üretilen YM Şekil 4.37’de verilmiştir.



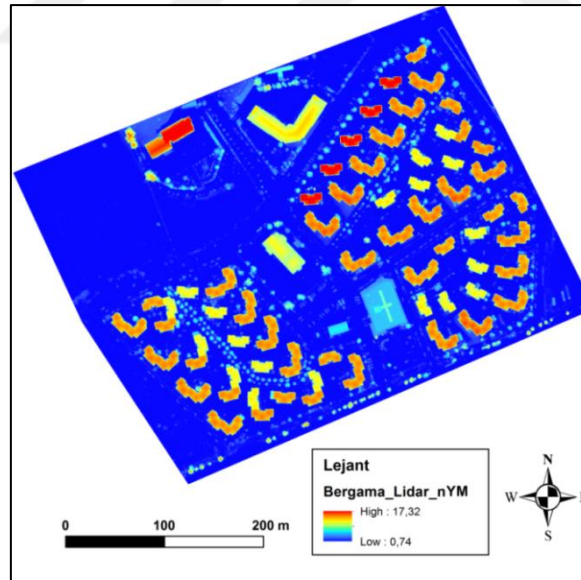
Şekil 4. 37 Bergama-LiDAR verisine ait YM.

Ham nokta bulutundan elde edilen yer noktaları, yine en yakın komşuluk enterpolasyon yöntemi kullanılarak 50 cm çözünürlükte SAM üretilmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4. 38 Bergama-LiDAR verisine ait SAM.

YM ve SAM görüntülerinin farkı alınarak üretilen nYM ise Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4. 39 Bergama-LiDAR verisine ait nYM.

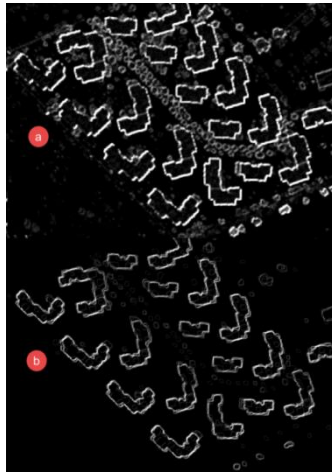
Bergama çalışma alanında binalar kampüs test alanında olduğu gibi birbirine uzak, fakat İstanbul test alanında olduğu gibi ağaçlar binalara çok yakın ve yüksektir. Bu sebeple doku parametresi üretilmeden önce bu alanda öncelikle Aşınma operatörü uygulanarak

sınırlar netleştirilmiş ve ağaçlar ile binaların ayrımı sağlanmıştır (Şekil 4.40).



Şekil 4. 40 Morfolojik işlemlerden önce (a) ve sonra (b) nYM.

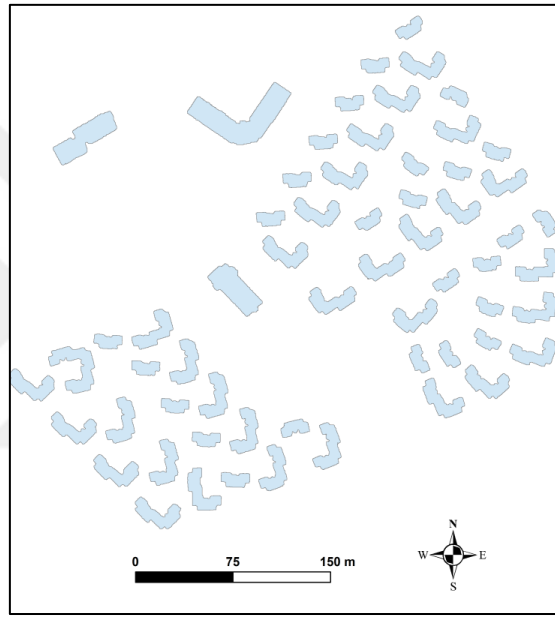
Şekil 4.40'te çalışma alanının bir kısmı verilmiştir. Şekil 4.40 (b)'de görüldüğü gibi morfolojik işlemlerden sonra ağaçların çoğu filtrelenmiş ve bina sınırları netleşmiştir. Çok yüksek ve geniş ağaçlar tamamen gitmemiştir. Ayrıca binalara yakın ve yüksek olanlar da kısmen kalmıştır. Fakat bunlar doku üretiminde elemine edilmektedirler. Çünkü aşınma operatörü sonrası piksel komşulukları değiştiği için doku özellikleri de değişmektedir. Aşınma işleminden sonra Benzemezlik doku parametresi üretilerek bina izdüşüm alanları elde edilmiştir. Aşınma öncesi ve sonrası Benzemezlik doku parametresindeki değişim Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4. 41 Bergama LiDAR verisine için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlik doku parametresi.

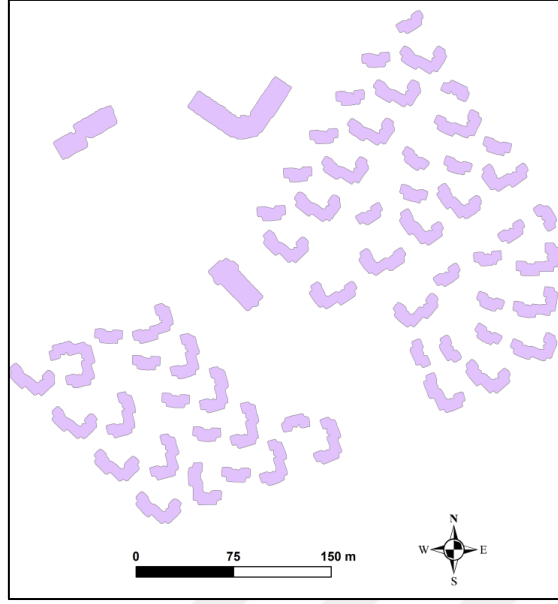
kısıtlamalara rağmen vektör olarak oluşan objeler seçilmemiştir. Bu şekildeki bir sonuç, elde edilen binaların el ile tekrar düzeltilmesi gerektirmektedir.

Aynı yaklaşım ile yani Benzemezlik değerlerine ait ortalama artı bir standart sapma ile yapılan renk dilimlemesi Aşınma operatörü sonrasında üretilen Benzemezlik değerine de uygulanmış ve binalar ile bazı müstakil objeler vektör olarak elde edilmiştir. Bu vektör izdüşüm alanlarından sadece binalar seçilerek farklı bir dosyaya kaydedilmiştir (Şekil 4.43).



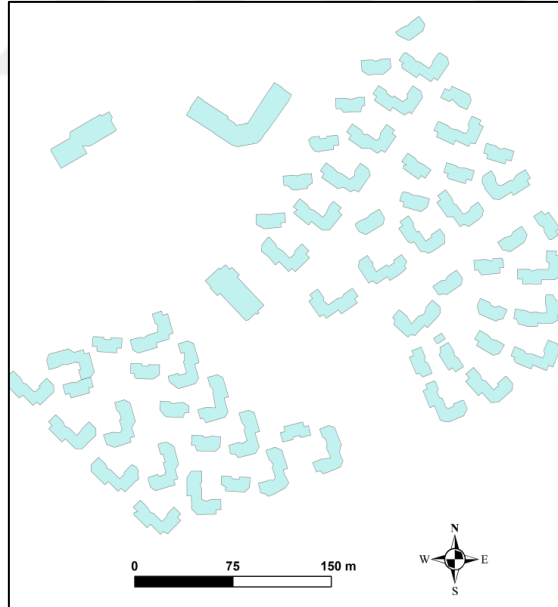
Şekil 4. 43 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama-LiDAR verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.43'deki binaların, ağaçlardan neredeyse tamamen ayrılmış olan izdüşüm alanları açıkça görülmektedir. Zikzaklı olan bu izdüşüm alanları basitleştirilerek son izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4. 44 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.

Bergama LiDAR verisinin önerilen yöntem ile elde edilen izdüşüm alanlarının karşılaştırılması amacıyla Envi yazılımı ile de binalar tespit edilmiştir (Şekil 4.45).

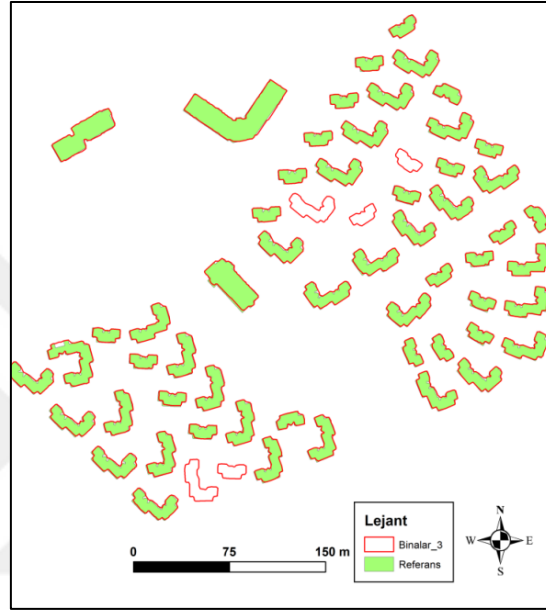


Şekil 4. 45 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama-LiDAR verisine ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.45'te görüldüğü gibi, Envi yazılımı genel olarak binaların tamamını bulmakla beraber birkaç yakın ağacı da bina gibi kabul etmiştir. Kompleks bir binayı da iki farklı bina olarak elde etmiştir. Fakat binalara yapışık ağaçları başarılı şekilde ayırmıştır. Envi

yazılımının en büyük dezavantajı izdüşüm alanlarını çok aşırı yuvarlayarak daha yumuşak yüzeyler üretmesidir. Bu durum da detayların kaybolmasına, bina köşelerinin değişmesine ve doğal olarak binanın orijinal şeklinin bozulmasına sebep olmaktadır.

Önerilen yöntem ile elde edilen ve basitleştirilen izdüşüm alanları Bergama bölgesine ait referans veri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.46).



Şekil 4. 46 Bergama-LiDAR verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

Şekil 4.46’da görüldüğü gibi, referans veri ve LiDAR verisi arasında eksik bina örtüşmeleri mevcuttur. Bu durumun iki sebebi vardır. Birinci sebebi referans veri ve LiDAR verisi arasında zaman farkı bulunmaktadır. İkinci durum ise Bergama test alanı bölgesinde yapılaşmanın henüz tamamlanmamasıdır. Bu sebeple, bulunan bazı binaların referans veride karşılığı mevcut değildir. Fakat bulunan binalar referans veri ile büyük oranda örtüştürmektedir. Bulunan binaların geometrik olarak detay seviyesi çok fazladır. Girinti çıkıntı şeklinde olan bu detaylar kısmen çıkarılabilmişse de genel olarak bulunan izdüşüm alanlarının içinde kalmıştır.

Görsel analizden sonra önceki test alanlarında olduğu gibi metrik bir sonuç elde etmek için alan bazlı karşılaştırmalar yapılmış ve hesaplanan sonuçlar ortalama olarak Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4. 10 Bergama-LiDAR verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

LİDAR	(%)
Üretici Doğruluğu	92,81
Kullanıcı Doğruluğu	94,59
Kalite	88,13

Çizelge 4.10'a göre üretilen izdüşüm alanları ile referansın neredeyse %93'lük bir kısmı örtüşmektedir. Yine son kullanıcı için hesaplanan doğruluk neredeyse %95'tir. Yani alanların neredeyse sadece %5'lik bir kısmı aslında bina değildir. Çalışmanın genel kalitesi ise referans ile örtüşen alanın referans ve önerilen alanların toplamına oranı olarak %88 olduğu görülmektedir. Hesaplamalara referans veride olmayan binalar katılmamış, sadece referans ve modelde örtüşen binalar kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki Bergama test alanda bulunan binaların krokileri Ek.5 'te ve LiDAR verisi hesaplamaları Ek.6'da bulunmaktadır.

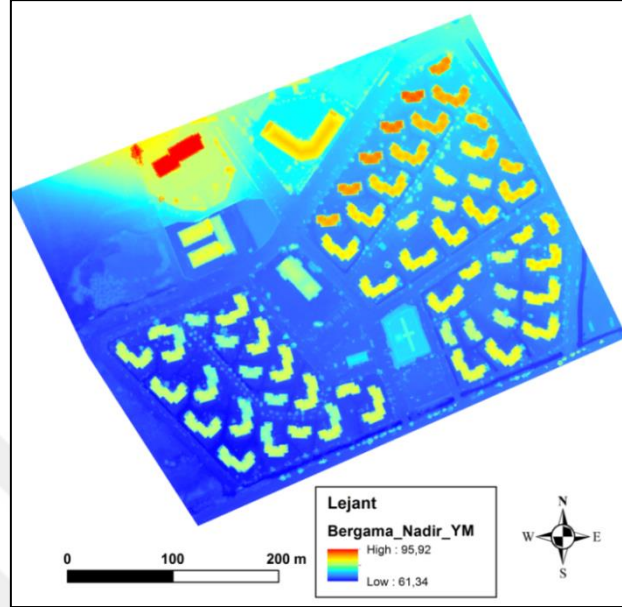
4.3.2 Bergama Test Alanı Nadir Uçuş Nokta Bulutu

Bergama test alanına ait ikinci veri, nadir uçuştan elde edilen nokta bulutudur. Diğer test alanlarında olduğu gibi öncelikle CSF algoritması kullanılarak ham nokta bulutu obje ve yer noktaları olarak ikiye ayrılmıştır. Filtreleme parametreleri olarak 1 m grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 0.3 m eşik değeri (CT) belirlenmiştir. Bu parametreler nokta yoğunluğu ve arazi topografyasına göre belirlenmiştir. Ayrımı yapılan yer ve obje noktaları Şekil 4.47'de görülmektedir.



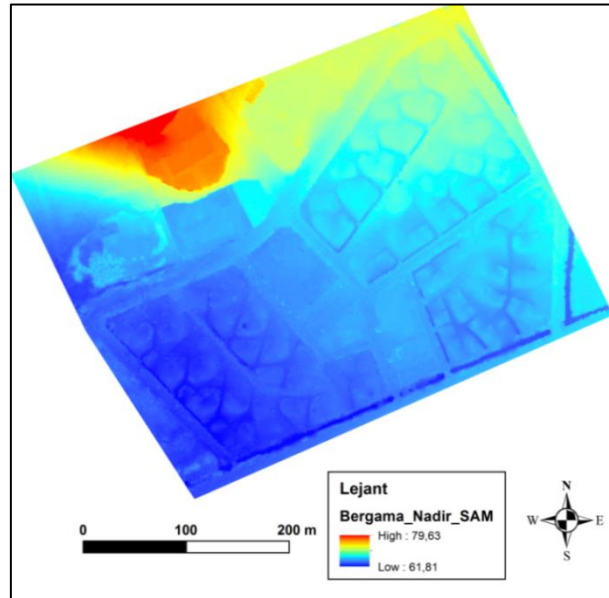
Şekil 4. 47 Bergama-Nadir uçuş verisine ait yer (a) ve obje (b) noktaları.

Yine ham nokta bulutu en yakın komşuluk enterpolasyonu kullanılarak 50 cm çözünürlüğündeki YM üretimi için kullanılmıştır (Şekil 4.48).



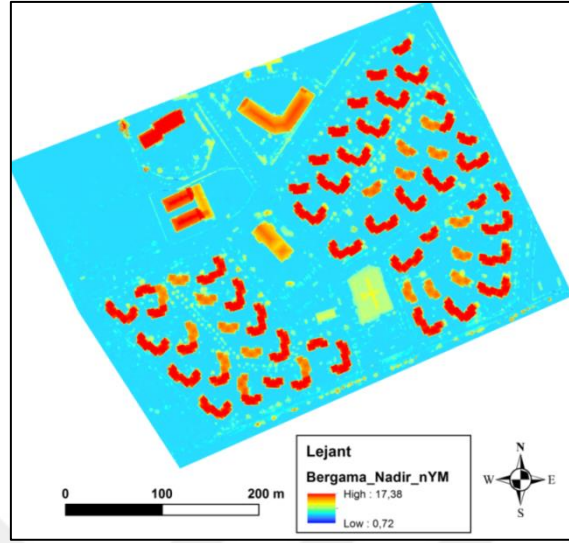
Şekil 4. 48 Bergama-Nadir uçuş verisine ait YM.

CSF algoritmasıyla elde edilen yer noktalar ise benzer şekilde en yakın komşuluk enterpolasyonu ile 50 cm çözünürlüğündeki SAM üretiminde kullanılmıştır (Şekil 4.49).



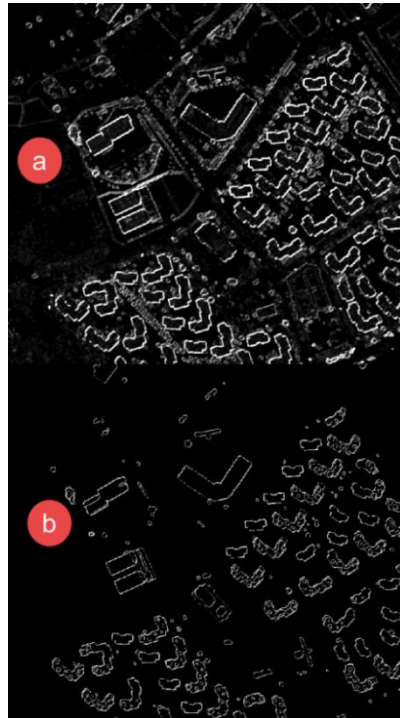
Şekil 4. 49 Bergama-Nadir uçuş verisine ait SAM.

Daha sonra, YM ve SAM görüntüleri kullanılarak nYM üretilmiştir (Şekil 4.50).

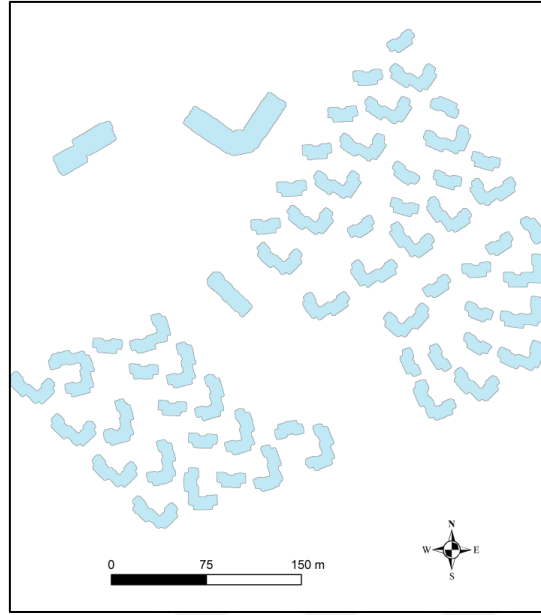


Şekil 4. 50 Bergama-Nadir uçuş verisine ait nYM.

Daha sonra nYM'ye morfolojik Aşınma operatörü uygulanmıştır. Aşınma operatörü önce ve sonrasına ait nYM'lerden Benzemezlik doku parametresi üretilerek izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.51).

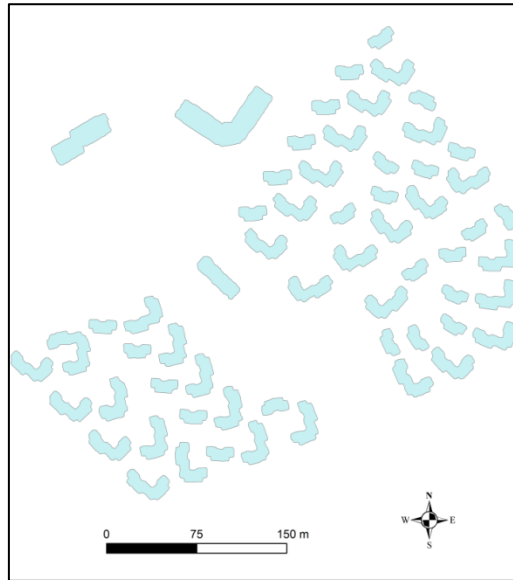


Şekil 4. 51 Bergama Nadir verisi için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlik doku parametresi.



Şekil 4. 53 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama- Nadir uçuş verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.

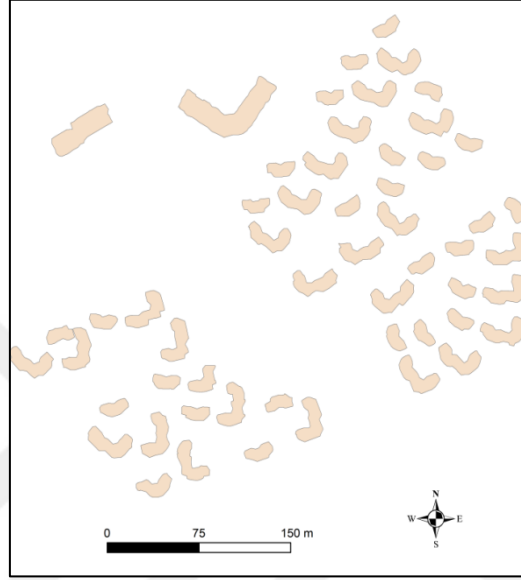
Şekil 4.53'te görüldüğü gibi bulunan izdüşüm alanları zikzaklı haldedir. Yine 50 cm eşik değeri ile elde edilen bina izdüşüm alanları basitleştirilerek son izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.54).



Şekil 4. 54 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.54'teki Nadir verisinden basitleştirilmiş son izdüşüm alanları ve Şekil 4.44 'te verilen LiDAR verisine ait basitleştirilmiş son izdüşüm alanları karşılaştırılınca Nadir

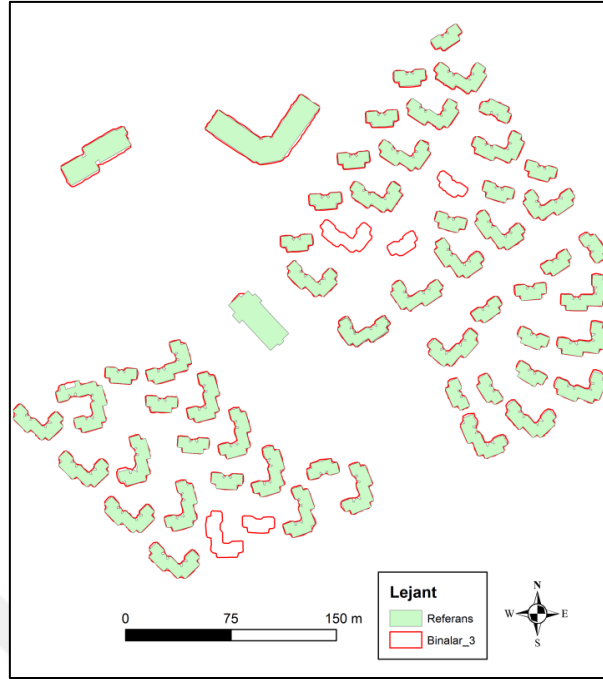
verisinde bina detaylarının daha fazla yakalandığı söylenebilir. Bu durumun Nadir nokta bulutunun daha yoğun olmasından ve buna bağlı olarak üretilen yükseklik modellerinde objelerin daha detaylı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bergama LiDAR verisinde olduğu gibi Bergama Nadir verisinden elde edilen nokta bulutu da Envi yazılında işlenerek bina izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.55).



Şekil 4. 55 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama-Nadir uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.55'te görüldüğü gibi, Bergama Nadir verisinde tespit edilemeyen binalar olduğu gibi karmaşık binalar da farklı bina gibi algılanmıştır. Fakat genel yaklaşım olarak önceki üç uygulamada görüldüğü gibi binaları yumuşatarak bina izdüşüm alanlarını bozmuş ve köşe noktaları büyük oranda kaybolmuştur.

Önerilen yöntem ile üretilen izdüşüm alanları Bergama bölgesine ait referans veriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.56).



Şekil 4. 56 Bergama-Nadir uçuş verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

Şekil 4.56’da görüldüğü üzere referans veri ile İHA uçuş tarihi arasında zaman farkı bulunmaktadır. Bu sebeple önceki uygulamada karşılaşılan referansta bulunmayan bina durumuyla Nadir verisinde de karşılaşılmıştır. Elde edilen izdüşüm alanları referans veriye güney duvarlarında teğet gibi görünmekte ve kuzey de ise referanstan taşmaktadır. LiDAR verisine göre Nadir izdüşüm alanları referans veriden daha geniş bir alanı kapsamış denebilir. Metrik analiz için hesaplanan değerler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11 Bergama-Nadir uçuş verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

NADİR	(%)
Üretici Doğruluğu	99,18
Kullanıcı Doğruluğu	90,51
Kalite	89,83

Üretilen alanlar referansı kapsadığı için referansın tamamına yakını bina olarak bulunmuştur. Dışarda kalan yani bina diye bulunan fakat aslında referans veride bulunmayan alanlar LiDAR verisi sonuçlarına göre daha fazladır. Bu da kullanıcı doğruluğunu LiDAR verisine göre düşürmektedir. Hesaplamalara referans veride olmayan binalar katılmamış, sadece referans ve modelde örtüşen binalar kullanılmıştır.

Çalışma kapsamındaki Bergama test alanda bulunan binaların krokileri Ek.5 'te ve Nadir verisi hesaplamaları Ek.7'de bulunmaktadır.

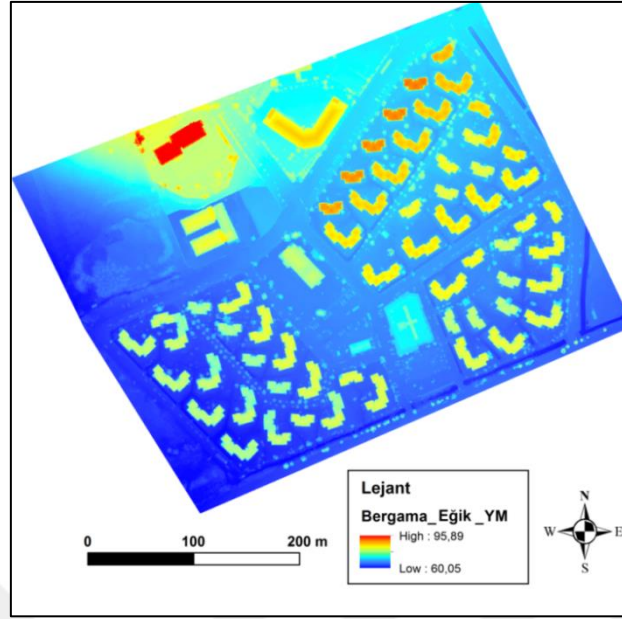
4.3.3 Bergama Test Alanı Eğik Uçuş Nokta Bulutu

Nadir verisinde olduğu gibi önce ham nokta bulutunun yer ve obje noktalarının ayrılması işlemi yapılmıştır. CSF algoritması kullanılarak ham nokta bulutu obje ve yer noktaları olarak ikiye ayrılmıştır. Filtreleme parametreleri olarak 1 m grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 0.3 m eşik değeri (CT) belirlenmiştir. Bu parametreler nokta yoğunluğu ve arazi topografyasına göre belirlenmiştir. Ayrımı yapılan yer ve obje noktaları Şekil 4.57'de verilmiştir.



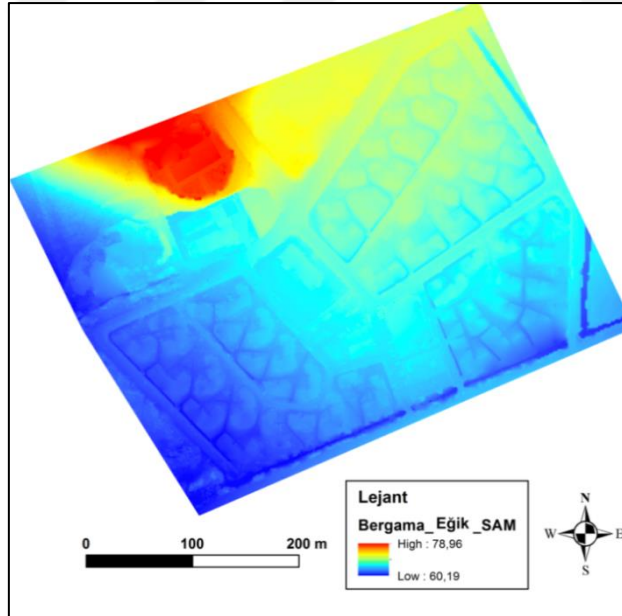
Şekil 4. 57 Bergama-Eğik uçuş verisine ait yer ve obje noktaları.

Ham nokta bulutundan en yakın komşuluk enterpolasyonu ile 50 cm çözünürlüğünde üretilen YM Şekil 4.58'de verilmiştir.



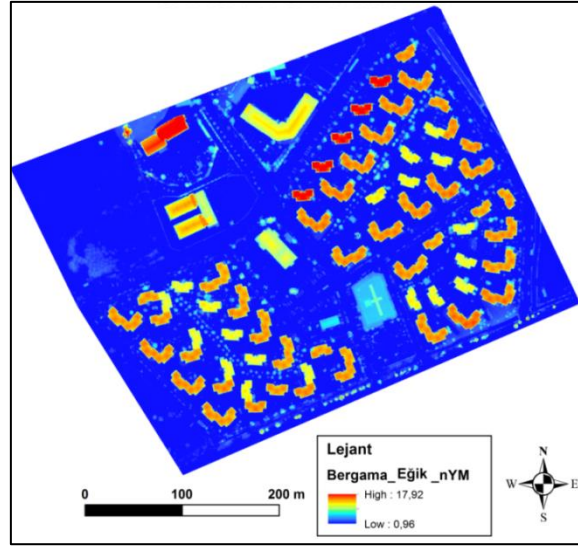
Şekil 4. 58 Bergama-Eğik uçuş verisine ait YM.

CSF algoritmasıyla elde edilen yer noktaları ise SAM üretiminde kullanılmıştır. En yakın komşuluk enterpolasyonu ile 50 cm çözünürlükte üretilen SAM Şekil 4.59’da verilmiştir.



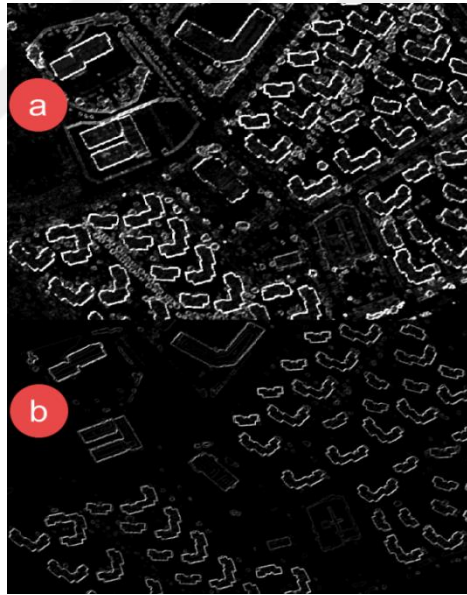
Şekil 4. 59 Bergama-Eğik uçuş verisine ait SAM.

YM ve SAM görüntülerinin farkı alınarak üretilen nYM ise Şekil 4.60’ta görülmektedir.



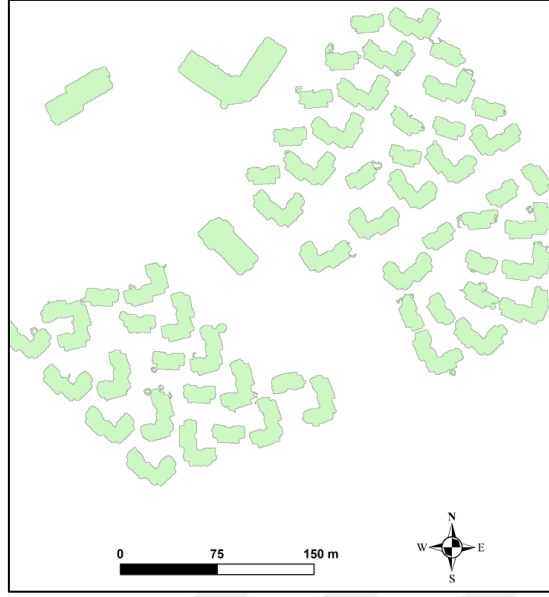
Şekil 4. 60 Bergama-Eğik uçuş verisine ait nYM.

Morfolojik Aşınma operatörü uygulanmadan ve uygulanmamış nYM'lerden üretilen Benzemezlik doku parametreleri Şekil 4.61'de verilmiştir.



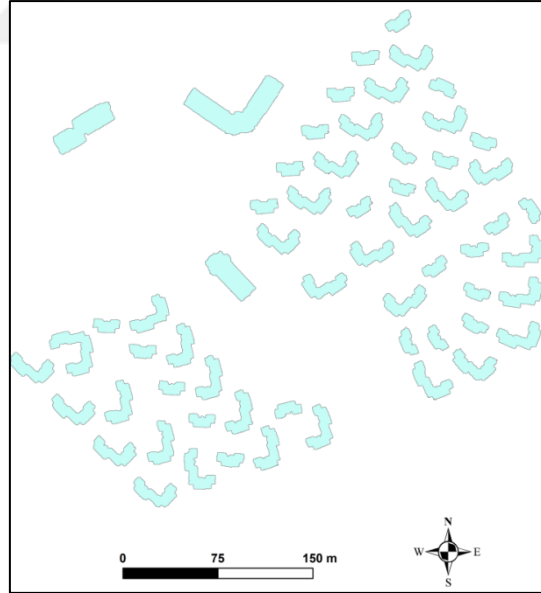
Şekil 4. 61 Bergama Eğik verisi için aşınma işlemlerden önce (a) ve sonra (b) üretilen Benzemezlik doku parametresi.

Şekil 4.61'de bina sınırlarının belirginliği ve ağaçlar ile bazı objelerin giderilmesi durumu, Aşınma operatörü öncesi ve sonrasında açıkça görülebilmektedir. Morfolojik Aşınma operatörü uygulanmadan önce elde edilen bina izdüşüm alanları Şekil 4.62'de verilmiştir.



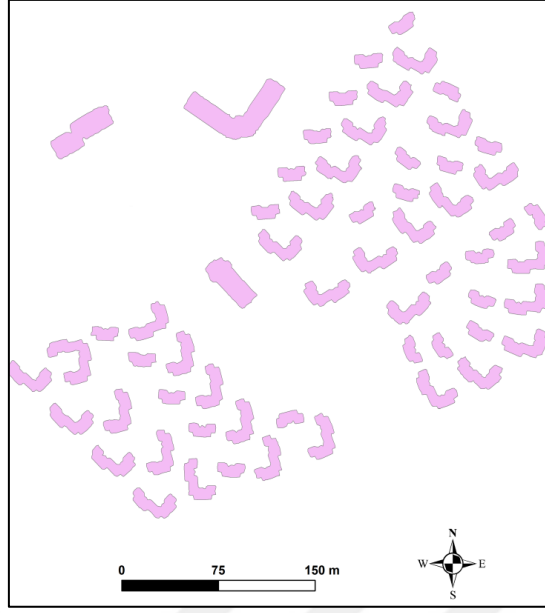
Şekil 4. 62 Morfolojik işlemlerden önce üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.62’de görüldüğü üzere, ağaçlar binalara yapışık halde görülmektedir. Aşınma operatörü sonrasında elde edilen izdüşüm alanları ise Şekil 4.63’te görülmektedir.



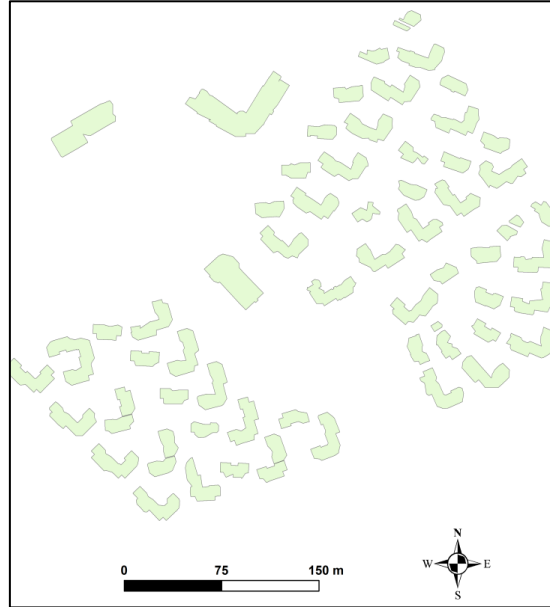
Şekil 4. 63 Morfolojik işlemlerden sonra üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait ilk bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.63’te aşınma operatörünün başarısı, filtrelenen ağaçlarda ve daha keskin bina sınırlarında açıkça görülmektedir. Zikzaklı olan bu izdüşüm basitleştirme yapılarak son izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.64).



Şekil 4. 64 Basitleştirilmiş bina izdüşüm alanları.

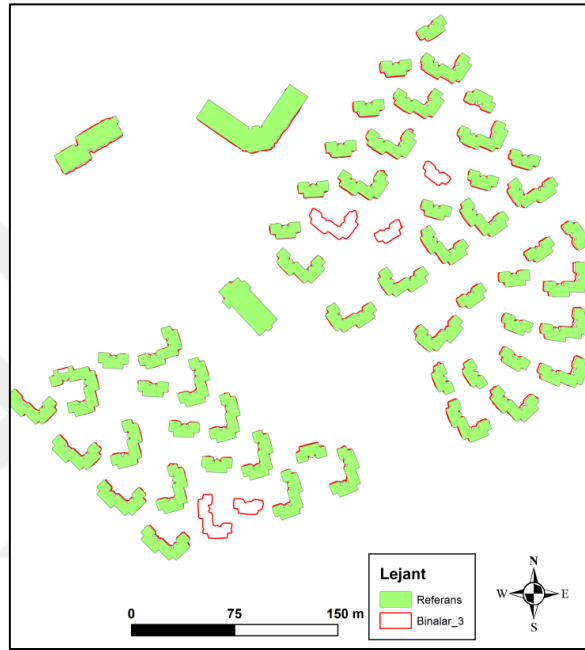
Eğik veriden elde edilen alanların LiDAR ve Nadir verilerine göre daha dar bir alanı kapsadığı söylenebilir. Fakat benzer şekilde ağaçlardan arındırılmış alanlar elde edilmiştir. Nadir verisinde olduğu gibi Eğik nokta bulutu da Envi yazılımında da işlenmiş ve bina izdüşüm alanları elde edilmiştir (Şekil 4.65).



Şekil 4. 65 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Bergama- Eğik uçuş verisine ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.65'te görüldüğü üzere, Envi yazılımı Bergama bölgesine ait olan daha önceki

LiDAR veri setinden daha kötü bir sonuç üretmiştir. Nadirden ise daha fazla bina bulmasına rağmen benzer şekilde karmaşık binaları farklı binalarmış gibi ayırmış ve bazı toplu ağaçları bina olarak tespit etmiştir. Önceki üç uygulamada görüldüğü gibi binaları yumuşatarak bina izdüşüm alanlarını bozmuş ve köşe noktaları büyük oranda kaybolmuştur. Önerilen yöntem ile üretilen izdüşüm alanları Bergama bölgesine ait referans veriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.66).



Şekil 4. 66 Bergama- Eğik uçuş verisine ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

Diğer veri setlerinde olduğu gibi Referans veri ile İHA uçuşu arasındaki zaman farkından dolayı referansta olmayan binalar da çalışmada tespit edilmiştir. Nadir sonuçlarına göre alanların küçüldüğü belirtilmişti. Elde edilen alanlar güney taraftan referans verinin içinde kalmış gibi görülmektedir. Bulunan alanlara ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Bergama-Eğik uçuş verisine ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

EĞİK	(%)
Üretici Doğruluğu	86,76
Kullanıcı Doğruluğu	93,18
Kalite	81,64

Çizelge 4.12'deki üretici doğruluna göre, Eğik uçuş verisinde referans verinin ortalama olarak yaklaşık % 87'si tespit edilebilmiştir. Her ne kadar alanların küçülmesi sonrasında referans içinde daha çok alan ve dışında daha az kalması beklenmişse de bu küçülme referansın içinde de olmuştur. Bir anlamda referans güney bölgede bulunan alanı içine almış ya da bulunan alan kuzeye doğru kaymış gibi düşünülebilir. Zaten Nadir ve Eğik verilerinde bina bazlı bulunan alanlar kontrol edildiğinde Eğik veride izdüşüm alanlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum Eğik uçuşta binaların daha alt kısımlarını görebilmemizden kaynaklandığı ve bu darlığın aşınma operatörü ve basitleştirmenin de etkisiyle daha da artmaktadır.

Yapılan doğruluk hesaplamalarına referans veride olmayan binalar katılmamış, sadece referans ve modelde örtüşen binalar kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki Bergama test alanında bulunan binaların krokileri Ek.5'te ve Eğik verisi hesaplamaları Ek.8 'de bulunmaktadır.

Bergama bölgesinde ki üç farklı verinin yükseklik modelleri de görüntü tabanlı olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla YM'leri arasında görüntü bazlı korelasyona bakılmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4. 13 Bergama bölgesinin YM'leri arasındaki korelasyon katsayıları.

	LiDAR	Nadir	Eğik
LiDAR	1.000	0.964	0.983
Nadir	0.964	1.000	0.959
Eğik	0.983	0.959	1.000

Tablo sonucuna göre 50 cm çözünürlüğündeki YM'ler arasında çok ciddi bir fark bulunmamaktadır. LiDAR verisi referans alınırsa Eğik veriden üretilmiş YM 0.98 korelasyon kat sayısı ile Nadir verisinden daha yüksek benzerliğe sahiptir. Korelasyon hesabı dışında yükseklik kontrolü de yapılmıştır. Bu amaçla arazide GPS ile ölçülmüş 5 adet noktanın Z değerleri ve bunlara karşılık gelen SAM değerleri kullanılarak karesel ortalama hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

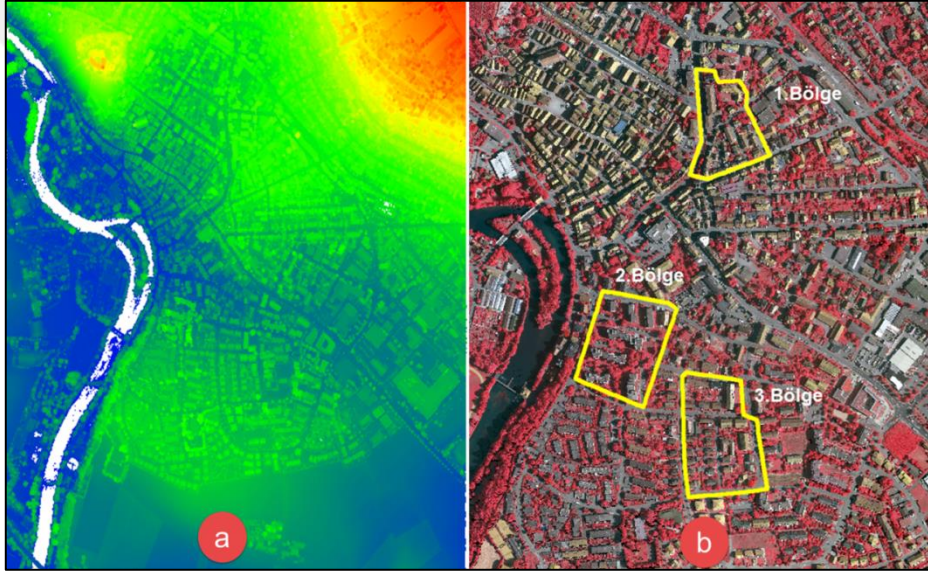
Çizelge 4. 14 Bergama bölgesinin SAM'larına ait KOH'lar (m).

	Z_{GPS}	SAM_{LiDAR}	SAM_{Nadir}	SAM_{Eğik}
Nokta 1	68.375	68.501	68.16	68.473
Nokta 2	72.038	72.065	72.002	72.097
Nokta 3	67.054	67.049	67.085	67.068
Nokta 4	66.605	66.899	66.879	66.867
Nokta 5	65.812	65.962	65.825	65.864
	KOH	0.158	0.157	0.143

Z_{GPS} GPS ile ölçülen kontrol noktalarını, SAM_{LiDAR}, SAM_{Nadir}, SAM_{Eğik} ise üretilen SAM'da ölçülen noktaları ifade etmektedir. Çizelge 4.14'teki referans noktalara göre en yüksek doğruluk, Eğik verisinden üretilmiş SAM verisine aittir. Fakat genel olarak hem nokta değerleri hem de KOH değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

4.4 Vaihingen Test Alanı

Vaihingen şehri nehir kıyısında, kısmen tepelik ve ağaçlık bir şehirdir. Bu şehre ait temin edilen veri setinde 18 946 433 nokta bulunmaktadır. Aykırı değerler filtrelendikten sonra geriye kalan ham veri setinde 18 564 391 nokta bulunmaktadır. Ham veri setinden çalışma grubunun istediği 3 alt bölge çekilerek, her bölge bağımsız işlenmiştir. 1.bölge, Vaihingen şehir merkezinde tarihi binaların ve ağaçların olduğu bir alan, 2.bölge, ağaçlarla çevrili yüksek katlı binaların olduğu bir bölge, 3.bölge, daha çok ağaçlık ve bağımsız alçak binaların olduğu bir bölgedir. Nokta bulutu ve alt bölgeler Şekil 4.67’de görülmektedir.



Şekil 4. 67 Vaihingen test alanına ait LiDAR nokta bulutu (a) ve ortofoto üzerinde gösterilen üç alt bölge (b).

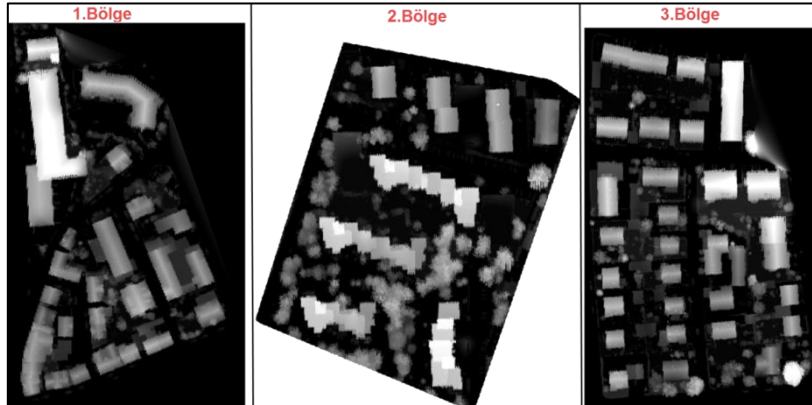
Çalışmada, önce istenen alt bölgeler tüm veri setinden ayrılmıştır. İlk olarak diğer test alanlarında olduğu gibi Envi yazılımıyla da binalar bulunmuştur (Şekil 4.68).



Şekil 4. 68 Envi LiDAR yazılımı ile üretilen Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait bina izdüşüm alanları.

Şekil 4.68’de görüldüğü gibi, Envi yazılımı bina tespiti anlamında bazı bölgelerde iyi sayılabilir. Fakat bina şekil ve bütünlüğü anlamında sonuçlar çok kötüdür. Birinci bölgede ağaçlar da binalara katılmış durumdadır. Bu da bina izdüşüm alanını doğrudan değiştirmiştir. İkinci bölgede karmaşık binaları farklı binalarmış gibi ayırmış ve binaların girinti - çıkıntıları ile köşelerini yuvarlanmıştır. Üçüncü bölge Envi yazılımının en başarılı olduğu bölge olmasına rağmen bazı binaları yakındaki diğer binalara bölerek şekilleri tamamen bozmuştur.

Envi uygulamasından sonra önerilen yöntem uygulanmıştır. Bunun için yine CSF algoritması ile her bir alt bölgeye ait yer ve obje noktaları ayrılmıştır. Filtreleme işleminde 1 m grid boyutu (CR), 500 iterasyon ve 50 cm eşik değer (CT) parametreleri kullanılmıştır. Daha sonra YM, SAM ve nYM üretilmiştir. Her üç bölgeye ait nYM Şekil 4.69’da görülmektedir.



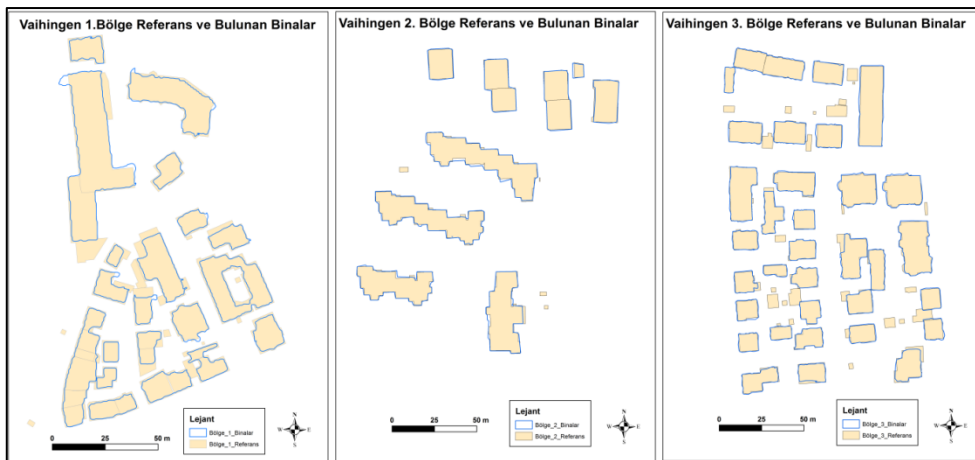
Şekil 4. 69 Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait nYM'ler.

Daha sonra nYM görüntülerine Morfolojik Aşınma işlemleri uygulanmıştır. Özellikle 3.bölgede çok fazla ağaç olması, bu ağaçların binalara çok yakın ve yapışık olması ve bazı ağaçların tek katlı binalardan yüksek olması büyük problem olmaktadır. Çünkü ağaçlarla beraber bu binalarda aşınmaktadır. Ayrıca 1. ve 3. bölgelerde çok yakın ve bitişik nizam binalar da problem oluşturmaktadır. Her üç bölgede de binalara yapışık çok fazla detay bulunduğunu diğer araştırmacılar da ifade etmektedir (Du *et al.* 2017). Teras, orta bahçe ve ağaçlardan küçük bina örnekleri Şekil 4.70'te görülmektedir.



Şekil 4. 70 Vaihingen test alanındaki detay örnekleri.

Aşınma işlemlerden sonra Benzemezlilik doku parametresi üretilmiş ve bina alanları elde edilmiş ve bu alanlar referans veri ile kıyaslanmıştır (Şekil 4.71).



Şekil 4. 71 Vaihingen test alanındaki üç alt bölgeye ait önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanları ve referans binalar.

Vaihingen veri seti alt bölgeleri için verilen referans binalarda 2,5 m² den daha büyük tüm bina, kulübe vb. objeler mevcuttur. I., II. ve III. Bölgeler için sırasıyla 37, 14 ve 56 bina bulunmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan bina tespiti sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4. 15 Vaihingen test alanına ait referans, bulunan ve bulunamayan bina sayıları.

	Referans	Bulunamayan	Bulunan
1.Bölge	37	8	20
2.Bölge	14	3	9
3.Bölge	56	23	33

Birinci bölgede hiç bulunamayan 8 binanın 7 si 5 m²'nin altında kulübe gibi küçük binalardır. Bulunamayan diğer bina ise, Şekil 4.71'de verilen detaylardan en üstte görülen muhtemelen balkon ya da teras gibi aslında bağımsız bir bina olmayan bitişik nizamda bir objedir. Benzer şekilde diğer bölgelerde de bu tarz objeler bulunamamıştır. Yine avlu olan bir alan da aşınarak izdüşüm alanında bulunamamıştır. Aynı yükseklikte ve bitişik nizam olan binalar bina olarak bulunmuş fakat bağımsız sınırlar tespit edilememiştir. Bu binalar tek bir bina kabul edildiği için bulunan bina sayısı düşük olmaktadır. Zaten birçok araştırmacı bina sınırlarından bahsetmeden sadece tespit sonuçlarını vermekte ve kullandıkları yaklaşıma göre 50 m² alana sahip ya da belli bir yüksekliğin üzerindeki binalar için sonuçlarını sunmaktadırlar (Du *et al.* 2017). Ayrıca bazı doku parametreleri yükseklik farkının çok olduğu alanlarda bazı küçük objelere ait dokuları bulmakta yetersiz kalmaktadır. Tez kapsamındaki uygulamada da benzer şekilde çok küçük ve görece alçak binalar tespit edilememiştir. Doğruluk değerleri sadece tespit edilen binalar kullanılmıştır. Hesaplamalar daha önce Şekil 4.30'da anlatılan yaklaşımla hesaplanmıştır. Her üç bölgeye ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri Çizelge 4.16'te verilmiştir.

Çizelge 4. 16 Vaihingen test alanı ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

	Bölge 1	Bölge 2	Bölge 3
Üretici Doğruluğu	77,34	97,34	96,03
Kullanıcı Doğruluğu	98,80	91,53	94,34
Kalite	76,60	89,44	90,99

1.bölgede referans binaların bulunma oranı düşüktür. Yukarıda anlatılan objelerin detay

özelliklerinden dolayı bulunan bina alanları, referans bina alanlarının içinde kalacak şekilde aşınmıştır. Diğer bir deyişle referans alanlar model alanları kapsamıştır. Bu durumda bina diye bulunan fakat referansta olmayan alan oranı çok az olduğu için kullanıcı doğruluğu yüksek çıkmaktadır.

2.bölgede bulunan alanlar referansı büyük oranda kapsamaktadır. Bu durumda referans alanların çoğu bina olarak doğru bir şekilde bulunabilmiştir. Fakat bu bölgedeki binaların çok fazla köşeleri olması ve bu köşelerin tam anlamıyla yakalanamaması kullanıcı doğruluğunu, üretici doğruluğuna göre düşürmüştür. Bu bölgedeki ağaçların binalardan daha uzak olması da avantaj sağlamıştır.

3.bölge de ikinci bölge gibi benzer bir durumdadır. Yani bulunan alan kısmen referansı kapsamıştır. Fakat bu bölgedeki binalarda kapı üstü koruma, bina girişlerindeki yükseklikler ya da posta kutusu gibi detaylar çok fazladır ve bunlar referans veride mevcuttur. Bu sebeple üretici doğruluğu 2.bölgeden biraz daha düşüktür. 3.bölgenin en büyük dezavantajı ağaçlardan küçük binaların çok olmasıdır. Bu objeler, ya Aşınma operatörü uygulanırken, ya da izdüşüm alanları üretimindeki eşik değer belirleme sırasında otomatik olarak vektör hale getirilememektedir. Bu binaları tespit için eşik değeri değiştirildiğinde ise, bu binalardan büyük ve binalara yapışık ağaçlar da vektör hale gelmektedir. Bu sebeple önerilen yöntemin diğer bölgelerde olduğu gibi aynen uygulanması ve bu küçük binaların bulunamaması kabul edilmiştir.

Tez çalışması kapsamındaki Vaihingen test alanda bulunan binaların krokileri Ek.9 'da ve her üç bölgeye ait hesaplamalar sırasıyla Ek.10-12-14 'te bulunmaktadır. Vahingen birinci bölge de %76,6 ikinci bölgede %89,4 ve üçüncü bölgede %90,9 ortalama kalite değerleri elde edilmiştir. Vaihingen test alanına ait güncel sonuçlar ISPRS tarafından ilan edilmektedir (İnt.Kyn.4).

4.5 Bulgular

Tez çalışmasındaki her test alanının ve her veri setinin özellikleri bir birinden farklıdır. Bu sebeple hesaplanan üretici ve kullanıcı doğrulukları ile kalite değerleri birbirinden farklıdır. Tez çalışması kapsamında uygulama yapılan 4 test alanına ait elde edilen üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve kalite parametrelerinin ortalama değerleri Çizelge 4.17’de bir arada verilmektedir

Çizelge 4. 17 Tüm test alanlarına ait hesaplanan ortalama doğruluk değerleri (%).

	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu	Kalite
ANS Kampus	98,84	87,40	86,45
İstanbul	85,61	98,24	84,23
Bergama (LiDAR)	92,81	94,59	88,13
Bergama (Nadir)	99,18	90,51	89,83
Bergama (Eğik)	86,76	93,18	81,64
Vaihingen 1.Bölge	77,34	98,80	76,60
Vaihingen 2.Bölge	97,34	91,53	89,44
Vaihingen 3.Bölge	96,03	94,34	90,99

Çizelge 4. 17’deki sonuçlar genel olarak yorumlanacak olursa üretici doğruluğu en düşük %86,76 ile Bergama bölgesine ait Eğik uçuş verisinden elde edilmiştir. En yüksek üretici doğruluğu ise yine %99,18 ile Bergama bölgesine ait Nadir uçuş verisinden elde edilmiştir. Kampüs verisinde bulunan alanın büyük kısmı referans veri ile örtüştüğü için üretici doğruluğu yüksek çıkmaktadır. Fakat kampüste bulunan binaların çıkmaları, sundurmaları ve bina girişlerindeki kapı üstü tenteleri gibi alanlar kullanıcı doğruluğunu düşürmektedir. İstanbul verisinde binaların yapışik nizam olması en büyük dezavantajdır. Her ne kadar kullanıcı doğruluğu yüksek çıksa da bunun temel sebebi daha önce de anlatıldığı gibi referans veride alanların bir sayılmasındandır. Bitişik binalar ayırlamadığı için referans veri dışında kalan alanlar da toplanmıştır ve bu durum üretici doğruluğunu düşürmüştür. Bergama bölgesi Nadir verisinin daha iyi üretici doğruluğu vermesi, referans ile kesişen alanının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bergama LiDAR verisinde referansın dışında kalan alan daha azdır. Bu sebeple kullanıcı doğruluğu nadir verisinden daha yüksektir.

Bina bazlı bakılacak olursa kampüs alanındaki birinci bina (Ek 1’de verilen krokiden

bakılabilir) %95,59 ile en yüksek üretici doğruluğuna sahiptir. Tek katlı ve çatılı olan bu binanın çatı payı dışında her hangi bir çıkıntı ya da eklentisi olmadığı için referans veriye çok uyumludur. Öte yandan 3.Bina laboratuvar binası ise en düşük üretici doğruluğuna sahiptir. Bu bina her ne kadar düzenli bir geometrik şekle sahip olsa da binaya jeneratör için yapılan bir eklenti üretici doğruluğunu düşürmüştür. Benzer şekilde İstanbul ve Bergama verilerindeki düzgün geometrik binalarda üretici doğruluğu %90'ları geçmektedir.

Bergama bölgesinde 2017 yılına ait İHA uçuşları ile tespit edilen binaların izdüşüm alanları 2015 yılı ortofotosunda gösterilerek arazide meydana gelen bina değişimleri gözlenmiştir (Şekil 4.72).



Şekil 4. 72 Altlık olarak alınan 2015 yılı Ortofotosunda 2017 yılı Nadir uçuş ile tespit edilen bina izdüşüm alanlarının gösterimi.

Elde edilen 2017 yılı izdüşüm alanları 2015 yılı ortofotosuyla beraber incelendiğinde,

2015 yılındaki mevcut binaların tespit edildiği ve bunun yanı sıra 2015 yılından sonra inşa edilmiş binaların da tespit edilebildiği, Şekil 4.72’de açıkça görülmektedir. Buna göre şehirlerin alt bölge yerleşimlerinde, özellikle imara yeni açılmış alanlarda gözlem ve kontrol imkânı olduğu gibi önceki durumla kıyaslanarak değişimin de tespiti mümkün olmaktadır.

Vahingen test alanına ait sonuçlar diğer araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bunun için her üç bölgeye ait en düşük ve en yüksek Kalite değerlerine sahip çalışma sonuçları ile tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar (NP) kodu ile Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4. 18 Vaihingen test alanına ait en düşük ve en yüksek Kalite değeri ve tezde elde edilen değerler (%).

	ISPRS Kodu	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu	Kalite
1. Bölge	WHU_YD	91,8	98,6	90,6
	NP	77,34	98,8	76,6
	KNTU_mod	75,8	74,3	60,1
2. Bölge	FED_2	94,6	98,3	93,1
	NP	97,34	91,93	89,44
	WHUY2	87,9	66,1	60,6
3. Bölge	NP	96,03	94,34	90,9
	TON	67,8	98,4	67,1

Çizelge 4.18’de görüldüğü gibi önerilen yöntemin en düşük kalite değeri %76 ile Vaihingen 1. Bölge iken en yüksek kalite değeri yine Vaihingen 3. bölgede %90’ı bulmuştur. Birinci ve ikinci ve bölgeler için ulaşılan kalite değeri diğer araştırma sonuçlarının arasında bir yere sahiptir. 3 bölgede ise tez çalışmasında ulaşılan Kalite değeri %90,9 ile en yüksek orana ulaşmıştır. Ayrıca yine her üç bölgeye ait ortalama sonuçlar yine (NP) kodu kullanılarak ISPRS tarafından yayınlana tüm araştırmacıların sonuçlarıyla beraber, sırasıyla Ek.11-13-15 ‘de verilmektedir.

Sonuç olarak veri setinin nokta yoğunluğuyla beraber bölgedeki binaların geometrik şekilleri ve detay durumları sonuç izdüşüm alanlarına doğrudan etki etmektedir. Ayrıca Aşınma operatörü binalara yapışık ağaçları filtreleyerek ve bina kenarlarındaki pürüzleri

gidererek daha düzgün kenarlar elde edilmesini sağlamıştır. Benzemezlik doku parametresi binaların test alanlarında oluşturduğu dokuyu tespit etmede çok başarılıdır. Bu sayede binaların izdüşüm alanları elde edilebilmektedir. İzdüşüm alanları basitleştirme işlemiyle referans veriye daha yakın hale gelmiş ve bu durum üretici ve kullanıcı doğrulukları ile kalite değerlerini arttırmıştır. Çizelge 4.17 ve Çizelge 4. 18’de verilen sonuçlar dikkate alınarak ve bina detay durumlarının da belirtilmesi kaydıyla haritaların güncellenmesi mümkün görünmektedir. Şekil 4.72’de görüldüğü gibi yerleşim birimlerinde, alt bölgelerdeki yapılaşmada meydana gelen değişimler önerilen bu yöntem ile izlenebilir. LiDAR’ın olmadığı durumlarda, İHA kullanımı hem yükseklik modellerinin KOH hem de üretilen izdüşüm alanlarının hesaplanan kalite değerleri anlamında LiDAR kadar hassas sonuç vermektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasının temel amacı, sadece georeferanslı nokta bulutunu girdi veri olarak kullanıp binaların tespit edilebilirliğini araştırmak, tespit edilen binaların izdüşüm alanlarını elde etmek ve bunları referans verilerle karşılaştırarak doğruluk analizi yapmaktır. Bu amaçla; İstanbul - Yeni Bosna, İzmir - Bergama ve Almanya - Vaihingen bölgelerine ait farklı lazer tarayıcılarla üretilmiş LiDAR nokta bulutu ve Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS kampüsünde Nadir uçuş ve yine İzmir-Bergama'da Nadir ve Eğik uçuşlar İHA ile yapılarak görüntü tabanlı nokta bulutları elde edilmiş ve çalışmada kullanılmıştır. Literatür kısmında da belirtildiği üzere bina tespiti çalışmalarında hava fotoğrafları ya da uydu görüntüleri gibi raster formattaki veriler ile nokta bulutu verilerinin bir biri üzerinde avantaj ve dezavantajları vardır. Fakat görüntü verileri işlem kolaylığı, işlem zamanı ve objelere ait kenarların daha tutarlı elde edilebilmesi gibi avantajlarından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Bu sebeple, literatürde bahsedilen diğer birçok çalışmada da yapıldığı gibi tez kapsamında kullanılan (4 farklı bölge için 3 LiDAR ve 3 görüntü tabanlı) nokta bulutu verileri yükseklik modelleri olarak görüntü formatına çevrilmiştir.

Literatürde birçok farklı amaç için kullanılan obje dokuları, bu çalışmada ANS kampüs alanına ait görüntü tabanlı nokta bulutundan üretilen nYM kullanılarak elde edilmiş ve bina tespiti için uygun bir doku parametresi aranmıştır. Görsel analizlerde Kontrast, Varyans ve Benzemezlik doku parametrelerinin daha elverişli olduğu görülmüştür. Ancak Kontrast ve Varyans'ta, alçak binalar ve bazı detaylar bulunamamaktadır. Bu sebeple Benzemezlik parametresinin binaların dokusunu daha iyi yakaladığı sonucuna varılmıştır. Diğer parametreler ise bina üzerindeki detayları da yakalamaktadır. Örneğin homojenlik parametresi bina dokusunu yakalamakta Benzemezlik parametresi kadar başarılıdır fakat bina alanlarının içinde de dokular bulunmaktadır. Bu durum bina izdüşüm alanlarını üretirken el ile düzeltme ihtiyacını doğurmaktadır. Ayrıca literatür kısmında da bahsedildiği gibi Benzemezlik parametresi uygulanması basit, yüksek doğrulukla, esnek kullanımlı ve yüksek performanslı bir doku parametresidir (Paclik *et al.* 2005). Bu sebeple çalışmanın devamında Benzemezlik doku parametresinin diğer tüm test alanlarında da kullanılmıştır.

Kampüs alanında binalar bir birinden uzaktır ve birkaç kapı üstü koruma dışında binaya temas eden bir obje yoktur. Fakat diğer üç alanda bitişik nizamda binalar olduğu gibi binalara çok yakın hatta yapışık denebilecek ağaçlar da mevcuttur. Bu üç alanda Benzemezlik parametresi yakın binaları ve ağaçları birleşik olarak elde etmekte ve tezin amacı olan bina tespiti işleminin doğruluğunu düşürmektedir. Böyle bir durumda elde edilecek bina izdüşüm alanlarının el ile ciddi bir oranda düzeltilmesi gerekmektedir. Literatürde benzer problemler bitki indeksi veya nokta bulutunun sınıflandırılmasıyla çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ağaçları temizlemek ve çok yakın olduğu için birleşik elde edilen bina sınırlarını ayırıp netleştirmek için Benzemezlik parametresinin üretilmesinden önce nYM'lere Morfolojik Aşınma operatörü uygulanmıştır. Morfolojik Aşınma, dikkate değer bir başarı ile ağaçları büyük oranda temizlemiş ya da binalardan ayırarak bina izdüşüm alanlarını ağaçtan bağımsız hale getirmiştir. nYM'de görülen bu olumlu etki Benzemezlik parametresini de olumlu etkileyerek ağaçlara ait dokuların binalara ait dokulardan ayrılmasını sağlamıştır.

Bazı ağaç ve objelerle beraber binalar doku olarak elde edildikten sonra, vektör formatta üretimi yapılmıştır. Bu amaçla renk dilimle işlemi uygulanarak bina izdüşüm alanları poligonlar şeklinde koordinatlı olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu bina izdüşüm alanları şekilsel olarak binalara çok benzer olmasına rağmen, pikselden vektöre dönüşüm olduğu için zikzaklı yapıdadır. Bu sebeple alanların basitleştirilmesi amacıyla birçok araştırmacının kendi çalışmalarında da kullandığı Douglas-Peucker algoritması uygulanmıştır. Basitleştirme işlemi sırasında düşük eşik değer tutularak alanların şekilsel bütünlüğünün ve binaya ait girinti-çıkıntı gibi detayların kaybolmamasına özen gösterilmiştir. Bu eşik değer deneysel olarak araştırılmış ve sonuçta bir piksel boyutu olan 50 cm tüm test alanları için kabul edilmiştir.

Performans karşılaştırması amacıyla Envi LiDAR ticari yazılımıyla da tüm bölgelere ait bina izdüşüm alanları üretilmiştir. Fakat Envi yazılımı önerilen yöntemle göre bina tespit sayısı ve tespit edilen binaların geometrik olarak şeklinin korunması anlamında daha başarısızdır. Görsel kıyaslama da bile Envi yazılımının ürettiği izdüşüm alanlarında bazı binaların bulunamadığı, karmaşık binaları ayrı binalara böldüğü, tanımladığı izdüşüm alanlarını çok fazla yumuşattığı için bina detaylarını kaybederek şeklen bozduğu ve bazı

verilerde toplu ağaçları bina olarak sınıfladığı görülmüştür. Bu sebeple bu sonuçlar analiz kısmındaki doğruluk hesaplarına katılmamıştır.

Önerilen yöntemle elde edilen bina izdüşüm alanlarının referans veri ile çakışık görsel analizleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra, piksel, obje ve alan bazlı uygulanabilir olduğu için literatürde yaygın olarak kullanılan üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve kalite metrik değerleri de alan bazlı hesaplanmıştır. Vaihingen test alanında elde edilen sonuçlar, bu alanda çalışan diğer araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin bina tespit çalışmaları için kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca önerilen yöntemin şehir alanlarındaki değişimlerin gözlenmesi, bina envanteri çıkarımı, kaçak yapı tespiti gibi uygulamalarda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bina tespiti çalışmalarında önerilen yöntem için veri seçimi, önerilen yöntemin uygulanmasını kolaylaştıracaktır. İHA ile uçuş yapılmasının verim olmayacağı geniş alanlı çalışma bölgeleri için LiDAR verisi tercih edilebilir. Şehir içerisindeki bir bölge için nadir uçuş kullanılabilir. Bu şekilde hem yüksek nokta yoğunluğu hem de LiDAR kadar yüksek doğruluk sağlanır. Fakat bina tespitinin yanı sıra modelleme de yapılması planlanıyor ise bina cephelerinde maksimum sayıda nokta temin edebilmek için eğik uçuş tercih edilmelidir. Nokta yoğunluğunun çalışmadaki etkisi yükseklik modellerinin çözünürlüğünde doğrudan kendini göstermektedir. Yükseklik modellerinin çözünürlüğü ise bina sınırlarının daha pürüzsüz ve doğru olmasını sağlamaktadır. Bu durum Bergama bölgesindeki farklı veri setlerinin sonuçlarında gözlenmiştir. Fakat ideal bir nokta yoğunluğundan söz etmek mümkün değildir. Çünkü bu durum sadece nokta yoğunluğuna bağlı değildir. Aynı zamanda noktaların dağılımı ve binaların şekilleri ile de alakalıdır.

Sonuç olarak bina tespiti için LiDAR ve görüntü tabanlı nokta bulutu kullanılan bu yöntem, farklı kaynaklardan elde edilen nokta bulutlarının bina tespitinde kullanılabilirliğini göstererek bilimsel literatüre katkı sağlamaktadır. İHA kullanan çalışmalar daha çok obje bazlı olup, bina modellemeye ya da çatı ve duvar yüzeyleri çıkarmaya yöneliktir. Ayrıca İHA kullanarak Nadir ve Eğik uçuşların ayrı ayrı işlenmesi de literatüre katkı olarak görülmektedir. Benzer şekilde Nadir, Eğik ve

LiDAR verisinin aynı test alanında kullanılarak sonuçların karşılaştırılması da özellikle şehre ait küçük alanlardaki çalışmalar için ciddi bir kıyas imkânı sunmaktadır. Farklı amaçlar için kullanılan doku parametrelerinden Benzemezlik doku parametresinin bina tespiti amacıyla kullanılması da literatüre bir katkı olarak düşünülmektedir. Başka birçok çalışmada da ciddi bir problem olduğu belirtilen ağaçların, herhangi bir yardımcı veri ve bitki indeksi kullanılmadan morfolojik erozyon ile filtrelenmesinin de dikkate değer bir katkı olduğu düşünülmektedir.

Önerilen yöntemin dezavantajları da mevcuttur. Doku farkı oluşamayacak derecede benzer olan ve bitişik nizamdaki obje sınırları belirlenememektedir. Aşınma operatörünün ciddi etkisi vardır: ağaçlardan daha alçak binalar veya binaların alçak kısımları da aşınmaktadır. Tamamen ya da kısmen ağaç altında kalan binalar bulunamamaktadır. Binalara sonradan eklenen sundurma tente çıkma, yüksek giriş gibi yapılar da bina alanına dâhil edilmektedir. Tüm bu durumlar yöntemin doğruluk değerlerini de düşürmektedir.

Bu çalışmanın ilerletilmesi amacıyla Nadir ve Eğik hava fotoğraflarının birlikte işlenmesi ve bu durumun bina tespitine katkıları araştırılmalıdır. Yine benzer şekilde ağaçların elenmesi konusunda bitki indeksi kullanımı gibi yöntemlere karşın morfolojik operatörlerin kullanımı da araştırılması gereken bir konu olarak görülmektedir. Ayrıca yükseklik modellerine ait piksel boyutlarının binalara ait dokuların elde dilmesinde nasıl etki ettiği de araştırılması gereken bir konudur.

6. KAYNAKLAR

- Abid Hasan, S. M. and Ko, K. (2016). Depth edge detection by image-based smoothing and morphological operations. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3:191-197.
- Abo Akel, N., Zilberstein, O. and Doytsher, Y. (2003). Automatic DTM extraction from dense raw LiDAR data in urban areas. In FIG Working Week, Austria, 22 September.
- Albers, B., Kada, M. and Wichmann, A. (2016). Automatic extraction and regularization of building outlines from airborne LiDAR point clouds. In XXIII ISPRS Congress, Prague, 12–19 July, 555-560.
- Alharthy, A. and Bethel, J. (2002). Heuristic Filtering and 3D Feature Extraction from LiDAR Data. In ISPRS Commission Symposium, Austria, 13 September, 29-34.
- Altun, A. A., ve Allahverdi, N. (2007). Filtreleme Teknikleri ile İyileştirilmiş Parmak İzlerini Yapay Sinir Ağları ile Tanımda Yeni Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22:227-236.
- Awrangjeb, M., Lu, G. and Fraser, C. S. (2014). Automatic building extraction from LiDAR data covering complex urban scenes. In ISPRS Technical Commission III Symposium, Zurich, 5 – 7 September, 25-32.
- Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M. and 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.
- Awrangjeb, M., Zhang, C., & Fraser, C. S. (2013). Automatic extraction of building roofs using LiDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 83: 1-18.
- Axelsson, P. (2000). DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 16-23 July, 110-117.
- Bai, X. and Liu, H. (2017). Edge enhanced morphology for infrared image analysis. *Infrared Physics and Technology*, 80: 44-57.

- Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 83-94.
- Baltsavias, E. P. (2004). Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **58**: 129-151.
- Barnard, S. T. and Fischler, M. A. (1982). Computational stereo. *ACM Computing Surveys*, **14**: 553-572.
- Bartels, M. and Wei, H. (2006). Maximum Likelihood Classification of LIDAR Data Incorporating Multiple Co-Registered Bands. In 4th International Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing in conjunction with the 18th International Conference on Pattern Recognition, Honkong, 20 June, 31-39.
- Batty, M., Chapman, D., Evans, S., Haklay, M., Kueppers, S., Shiode, N., Torrens, P. M. (2000) Visualizing the city: communicating urban design to planners and decision-makers. London Reports.
- Bayram, B. (2004). Sayısal Görüntü İşleme Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Bellekens, B., Spruyt, V. and Weyn, M. (2014). A Survey of Rigid 3D Pointcloud Registration Algorithms. In The Fourth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies, Rome, 15 September, 8-14.
- Besl, P. and McKay, N. (1992). A Method for Registration of 3-D Shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **14**: 239-256.
- Boufama, B., Mohr, R. and Veillon, F. (1993). Euclidian constraints for uncalibrated reconstruction. In Iccv Conferance, Berlin, 10 May, 466-470.
- Boztoprak, H., Fatih Çağlar, M. ve Merdan, M. (2007). Alternatif Morfolojik Bir Yöntemle Plaka Yerini Saptama. *Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi*, Eskişehir, 28 Nisan, 24-30.
- Briese, C. (2010). Extraction of digital terrain models. In Vosselman, G. (Ed.), Airborne and terrestrial laser scanning, University of Technology, Vienna, 147-150.
- Brunn, A. and Weidner, U. (1997). Extracting buildings from digital surface models. In ISPRS Symposium, Stuttgart, 17 - 19 September, 27-34.

- Caceres, J. (2008). Classification of building infrastructure and automatic building footprint delineation using Airborne Laser Swath Mapping data. Doctora thesis, University of Florida.
- Caruso, D., Zerunian, M., Ciolina, M., de Santis, D., Rengo, M., Soomro, M. H., Laghi, A. (2017). Haralick's texture features for the prediction of response to therapy in colorectal cancer: a preliminary study. *La Radiologia Medica*, **123**: 161-167.
- Chehata, N., Guo, L. and Forests, R. (2009). Airborne LiDAR feature selection for urban classification using random forests. In ISPRS Symposium, Paris, 2 September, 207-212.
- Chen, C.-S., Hung, Y.-P. and Cheng, J.-B. (1998). A fast automatic method for registration of partially-overlapping range images. In IEEE 6th International Conference on Computer Vision, Bombay, 7 January, 242-250.
- Chen, C.-S., Hung, Y.-P. and Cheng, J.-B. (1999). RANSAC-based DARCES: a new approach to fast automatic registration of partially overlapping range images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **21**: 92-96.
- Cheng, L., Gong, J., Chen, X. and Han, P. (2008). Building boundary extraction from high resolution imagery and LiDAR data. In ISPRS Symposium, Beijing, 8 September, 692-698.
- Clausi, D. A. and Zhao, Y. (2002). Rapid extraction of image texture by co-occurrence using a hybrid data structure. *Computers & Geosciences*, **28**: 763-774.
- Comert, R., Avdan, U. ve Avcı, Z. D. (2016). İnsansız hava aracı verilerinden nesne tabanlı bina çıkarımı. 6. UZAL-CBS Sempozyumu, Adana, 7 Ekim, 339-347.
- Dai, Y., Gong, J., Li, Y. and Feng, Q. (2017). Building segmentation and outline extraction from uav image-derived point clouds by a line growing algorithm. *International Journal of Digital Earth*, **10**: 1077-1097.
- Davidson, J. L. (2000). Stereo photogrammetry in geotechnical engineering research. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **51**: 1589-1596.
- Demir, N. (2013). Combination of airborne laser and image data for building detection and 3D roof reconstruction. Doctora Thesis, ETH Zurich University, Zurich.

- Demir, N. (2014). Various building detection methods with the use of image and LiDAR data. *Technical Gazette*, **21**, 341-350.
- Demir, N. (2015). Görüntü ve LiDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, **1**: 55-65.
- Demir, N., Poli, D. and Baltsavias, E. (2009). Detection of buildings at Airport sites using images and LiDAR data and a combination of various methods. In Iaprs, Paris, France, 3-4 September, 71-76.
- Dhond, U. R. and Aggarwal, J. K. (1989). Structure from Stereo—A Review. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **19**: 1489-1510.
- Ding, M., Lyngbaek, K. and Zakhor, A. (2008). Automatic registration of aerial imagery with untextured 3D LiDAR models. In 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, USA, 23 June, 1-8.
- Dornaika, F., Moujahid, A., El Merabet Y., Ruichek, Y. (2016). Building detection from orthophotos using a machine learning approach: An empirical study on image segmentation and descriptors. *Expert Systems With Applications*, **58**:130-142.
- Douglas, D. H. and Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. John Wiley & Sons, Inc, USA.
- Du, S., Zhang, Y., Zou, Z., Xu, S., He, X. and Chen, S. (2017). Automatic building extraction from LiDAR data fusion of point and grid-based features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **130**: 294-307.
- Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. Phd Thesis, ETH Zurich University, Zurich.
- Elberink, S. O. and Maas, H.-G. (2000). The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data. In Iaprs, Beijing, 12 May, 678-684.
- Fan, X., Nie, G., Gao, N., Deng, Y., An, J. and Li, H. (2017). Building extraction from UAV remote sensing data based on photogrammetry method. In International

Geoscience and Remote Sensing Symposium, Texas, 13 July, 3317-3320.

Faugeras, O. G. and Hebert, M. (1986). Representation , recognition , and locating of 3D objects. *The International Journal of Robotics Research*, **5**:78-86.

Filin, S. and Pfeifer, N. (2006). Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **60**: 71-80.

Fischer, A., Kolbe, T. H., Lang, F., Cremers, A. B., Förstner, W., Plümer, L. and Steinhage, V. (1998). Extracting buildings from aerial images using hierarchical aggregation in 2D and 3D. *Computer Vision and Image Understanding*, **72**: 185-203.

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, **80**: 185-201.

Forlani, G. and Nardinocchi, C. (2007). Adaptive filtering of aerial laser scanning data. In ISPRS Symposium, Finland, 12 September, 130-35.

Forlani, G., Nardinocchi, C., Scaioni, M. and Zingaretti, P. (2006). Complete classification of raw LIDAR data and 3D reconstruction of buildings. *Pattern Analysis and Applications*, **8**: 357-374.

Fradkin, M., Maître, H. and Roux, M. (2001). Building detection from multiple aerial images in dense urban areas. *Computer Vision and Image Understanding*, **82**: 181-207.

Fuchs, C. (1998). OEEPE Survey on 3D City Models. OEEPE Publications, Frankfurt.

Gao, Z., Song, Y., Li, C., Zeng, F. and Wang, F. (2017). Research on the application of rapid surveying and mapping for large scale topographic map by UAV Aerial photography system. In ISPRS Symposium, Bonn, 7 September, 121-125.

Gebejes, A., Master, E. M. and Samples, A. (2013). Texture characterization based on grey-level co-occurrence matrix. In Conference of Informatics and Management Sciences, Canada, 16 November.

Gerke, M. and Xiao, J. (2014). Fusion of airborne laserscanning point clouds and images for supervised and unsupervised scene classification. *ISPRS Journal of*

Photogrammetry and Remote Sensing, **87**: 78-92.

- Gevaert, C. M., Persello, C., Elberink, S. O., Vosselman, G. and Sliuzas, R. (2017). Context-based filtering of noisy labels for automatic basemap updating from UAV data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **18**: 1-11.
- Gilani, S. A. N., Awrangjeb, M. and Lu, G. (2015). Fusion of LiDAR data and multispectral imagery for effective building detection based on graph and connected component analysis. In ISPRS Symposium, Italy, 13 July, 65-72.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. and Eddins, S. L. (2009). Digital Image Processing Using MATLAB, Gates Mark, USA.
- Gonzalez, R. and Woods, R. (2002). Digital image processing, Prentice Hall, USA.
- Green, N. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University, New York.
- Grigillo, D. and Kanjir, U. (2012). Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images. In ISPRS Symposium, Melbourne, 25 August, 215-220.
- Gruen, A., Kuebler, O.. (1995). Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images. Agouris, P. (Eds.), Birkhäuser, Basel.
- Haala, N. and Brenner, C. (1999). Extraction of buildings and trees in urban environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 130-137.
- Haralick, R., Shanmugan, K. and Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **3**: 610-621.
- Harris Geospatial. (2016). Create a Raster Color Slice. Harris GeoSpatial Reports, USA.
- Harris Geospatial. (2017). Process for Computing Texture Metrics. Harris GeoSpatial Reports, USA.
- Hebel, M. and Stilla, U. (2007). Automatic registration of laser point clouds of urban areas. In ISPRS Symposium, Munich, 21 September, 13-18.
- Heipke, C., Mayer, H., Wiedemann, C., Sensing, R. and Jamet, O. (1997). Evaluation of automatic road extraction. In ISPRS Symposium, Stuttgart, 7 September, 151-161.

- Holland, D. A., Sanchez-Hernandez, C. and Gladstone, C. (2008). Detecting changes to topographic features using high resolution imagery. In ISPRS Symposium, Beijing, 8 May, 1153-1159.
- Hu, Y. (2003). Automated extraction of digital terrain models , roads and buildings using airborne LiDAR data. Phd Thesis. The University of Calgary, USA.
- Huang, H. and Sester, M. (2012). A hybrid approach to extraction and refinement of building footprints from airborne LiDAR data. In ISPRS Symposium, 21 October, Guilin, China, 153-161.
- Huertas, A., Lin, C. and Nevatia, R. (1993). Detection of buildings from monocular views of aerial scenes using perceptual organization and shadows. In ARPA Image Understanding Workshop, Seattle, 23 June.
- Jabari, S. and Zhang, Y. (2013). Very high resolution satellite image classification using fuzzy rule-based systems. *Algorithms*, **6**: 762-781.
- Jarzabek-Rychard, M. (2012). Reconstruction of building outlines in dense urban areas based on LiDAR data and address points. In ISPRS Symposium, Melbourne, Australia, 25 August, 121-128.
- Jin, X. and Davis, C. H. (2005). Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information. *Journal on Advances in Signal Processing*, **14**: 2196-2206.
- Jung, F. (2004). Detecting building changes from multitemporal aerial stereopairs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **58**: 187-201.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Gülch, E., Vosselman, G., Hyypä, H., Matikainen, L., Dragoja, M. (2005). Accuracy of 3D city models: EuroSDR comparison. In ISPRS Symposium, Netherlands, 12 September, 227-232.
- Kayı, A., Erdogan, M., Eker, O. 2015. OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS-Q1560 ile Gerçekleştirilen LiDAR Test Sonuçları. *Harita Dergisi Ocak*, **153**:42-46.
- Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A. and 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.

- Kim, C., Habib, A. and Mrstik, P. (2007). New approach for planar patch segmentation using airborne laser data. In Proceedings of the ASPRS, Florida, 7 May.
- Kraus, K. and Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **53**: 193-203.
- Külür, S. and Toz, G. (2002). Fotogrametri ders notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Lafarge, F., Descombes, X., Zerubia, J. and Pierrot-Deseilligny, M. (2008). Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **63**: 365-381.
- Lafarge, F. and Mallet, C. (2012). Creating large-scale city models from 3D-point clouds : a robust approach with hybrid representation. *International Journal of Computer Vision*, **1**: 69-85.
- Lee, D. H., Lee, K. M. and Lee, S. U. (2008). Fusion of LiDAR and imagery for reliable building extraction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **74**: 215-225.
- Lee, D. S., Shan, J. and Bethel, J. S. (2003). Class-guided building extraction from ikonos imagery. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, **69**: 143-150.
- Liadsky, J. (2007). Recent advancements in commercial LiDAR mapping and imaging systems. In NPS LiDAR Workshop, Denver, 12 May.
- Lin, C. and Nevatia, R. (1998). Building detection and description from a single intensity image. *Computer Vision and Image Understanding*, **72**: 101-121.
- Lin, Huertas and Nevatia. (1994). Detection of buildings using perceptual grouping and shadows. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, 23 June.
- Liu, C., Shi, B., Yang, X. and Li, N. (2012). LEGION segmentation for building extraction from LiDAR based DSM data. In ISPRS Symposium, Melbourne, 1

September, 291-296.

- Liu, C., Shi, B., Yang, X., Li, N. and Wu, H. (2013). Automatic buildings extraction from LiDAR data in urban area by neural oscillator network of visual cortex. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **6**: 2008-2019.
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*, **32**: 31-49.
- Lu, Y. H., Trinder, J. C. and Kubik, K. (2006). Automatic building detection using the Dempster-Shafer algorithm. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **72**: 395-403.
- Ma, R. (2005). DEM generation and building detection from LiDAR data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **71**: 847-854.
- Maas, H. (2000). Least-squares matching with airborne laserscanning data in a TIN structure. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 25 July, 548-555.
- Maas, H. G. and Vosselman, G. (1999). Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 153-163.
- Manno-Kovács, A., Ok, Ali Özgün. (2015). Building detection from monocular VHR images by integrated urban area knowledge. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **12**: 2140-2144.
- Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D. and Eisenbeiss, H. (2012). Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. In ISPRS Symposium, Zurich, 16 September, 57-62.
- Marr, D. and Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, **194**: 283-287.
- Matikainen, L. (2009). Comparison between first pulse and last pulse laser scanner data in the automatic detection of buildings. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **75**: 133-146.
- Matikainen, L., Hyyppä, J., Ahokas, E., Markelin, L. and Kaartinen, H. (2010).

Automatic detection of buildings and changes in buildings for updating of maps. *Remote Sensing*, **2**: 1217-1248.

Matikainen, L. and Kaartinen, H. (2007). Classification tree based building detection from laser scanner and aerial image data. In ISPRS Workshop on Laser Scanning, Finland, 14 September, 280-287.

Matinfar, H. R., Sarmadian, F., Panah, S. K. A. and Heck, R. J. (2007). Comparisons of object-oriented and pixel-based classification of land use/land cover types based on Landsat7, Etm + spectral bands (Case Study: Arid Region of Iran). *Environ. Sci*, **2**: 448-456.

Maune, D. F. (2007). Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Press, USA.

Mayer, H. (1999). Automatic object extraction from aerial imagery - a survey focusing on buildings. *Computer Vision and Image Understanding*, **74**: 138-149.

Mcbratney, A. B. and Webster, R. (1986). Choosing functions for semi - variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *European Journal of Soil Science*, **37**: 1-12.

Meng, X., Currit, N. and Wang, L. (2008). Morphology-based building detection from airborne LiDAR Data. In ASPRS Annual Conference, Portland, 28 April.

Meng, X., Currit, N. and Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A Review of critical issues. *Remote Sensing*, **2**: 833-860.

Miliareisis, G. and Kokkas, N. (2007). Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LiDAR DEMs. *Computers and Geosciences*, **33**: 1076-1087.

Mongus, D., Lukač, N., Obrul, D. and Žalik, B. (2013). Detection of planar points for building extraction from LiDAR data. In ISPRS Conference, Canada, 28 May, 21-26.

Mongus, D., Lukač, N. and Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted

- surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **93**: 145-156.
- Mookiah, M. R. K., Rohrmeier, A., Dieckmeyer, M., Mei, K., Kopp, F. K., Noel, P. B., Subburaj, K. (2018). Feasibility of opportunistic osteoporosis screening in routine contrast-enhanced multi detector computed tomography using texture analysis. *Osteoporosis International*, **29**: 825-835.
- Morgan, M. and Tempfli, K. (2000). Automatic building extraction from airborne laser scanning data. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 6 April, 616-623.
- Moussa, A. and El-Sheimy, N. (2012). A new object based method for automated extraction of urban objects from airborne sensors data. ISPRS Congress, Melbourne, 25 August, 309-314.
- Mumbone, M., Bennett, R., Gerke, M. and Volkmann, W. (2015). Innovations in boundary mapping: Namibia, customary lands and UAVs. In 2015 world bank conference on land and poverty. Washington: 25 July.
- Müller, S. and Zaum, D. W. (2005). Robust building detection in aerial images. In Proc. ISPRS Workshop, Vienna, 29 August, 143-149.
- Nakagawa, M. and Shibasaki, R. (2008). Building change detection using 3-D texture model. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, **37**: 173-178.
- Nevatia, R., Lin, C. and Huertas, A. (1997). A system for building detection from aerial images. In *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*. Basel: Birkhäuser Basel.
- NOAA, C. S. (2012). *LiDAR 101 : An Introduction to LiDAR Technology , Data , and Applications*. NOAA, USA.
- Nyaruhuma, A. P. (2012). Automatic verification of buildings using oblique airborne images. Twente University, Holland.
- Ok, Ali Özgün. (2013). Automated detection of buildings from single VHR multispectral images using shadow information and graph cuts. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **86**:21-40.
- Oral, M. ve Deniz, U. (2005). Ardışık görüntülerde hareket analizi. In IEEE Conference

on Robotics and Automation, Barcelona, 18 April, 18-25.

- Özcan, A. H., Ünsalan, C., and Reinartz, P. (2018). Ground filtering and DTM generation from DSM data using probabilistic voting and segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, **39**: 2860-2883.
- Özşen, Ö. (2004). Mamogramlar üzerinde uygulanan görüntü işleme tekniklerinin incelenmesi. In Signal Processing and Communications Applications Conference, Kuşadası, 30 April, 33-38.
- Paclik, P., Verzakov, S. and Duin, R. P. W. (2005). Improving the maximum likelihood cooccurrence classifier: A study on classification of inhomogeneous rock images. In 14th Conference on Image Analysis, Finland, 19 June, 1017-1027.
- Petzold, B., Reiss, P. and Stössel, W. (1999). Laser scanning:surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 95-104.
- Polat, N. (2014). Farklı Filtreleme Yöntemleri İle LiDAR Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi.Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Polat, N., and Uysal, M. (2016). An overview to airborne LiDAR system, application fields and popular pointcloud softwares. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, **16**: 679-692.
- Polat, N., and Uysal, M. (2018). An experimental analysis of digital elevation models generated with LiDAR data and UAV photogrammetry. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **5**: 1-8.
- Rajendra, Y. D., Mehrotra, S. C., Kale, K. V., Manza, R. R., Dhumal, R. K., Nagne, A. D. and Vibhute, A. D. (2014). Evaluation of partially overlapping 3D point cloud's registration by using ICP variant and cloudcompare. In ISPRS Symposium, Hyderabad, 12 December, 891-897.
- Rao, C. N., Sastry, S. S., Mallika, K., Tiong, H. S. and Mahalakshmi, K. B. (2013). Co-occurrence matrix and its statistical features as an approach for identification of phase transitions of mesogens. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, **2**: 4531-4538.

- Reischauer, C., Patzwahl, R., Koh, D. M., Froehlich, J. M. and Gutzeit, A. (2018). Texture analysis of apparent diffusion coefficient maps for treatment response assessment in prostate cancer bone metastases, A pilot study. *European Journal of Radiology*, **101**: 184-190.
- Rittl, T., Cooper, M., Heck, R. J. and Ballester, M. V. R. (2013). Object-Based method outperforms per-pixel method for land cover classification in a protected area of the brazilian atlantic rainforest region. *Pedosphere*, **23**: 290-297.
- Rottensteiner, F. (2007). Building change detection from digital surface models and multi-spectral images. In ISPRS Symposium, Munich, 19 September, 145-150.
- Rottensteiner, F. (2008). Automated updating of building data bases from digital surface models and multi-spectral images: Potential and limitations. ISPRS Congress, Beijing, 11 July, 265-270.
- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. and 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*, **62**: 135-149.
- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K. and Lovell, B. (2004). Building detection by dempster-shafer fusion of LIDAR data and multispectral aerial imagery. International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, 26 Agust, 339-342.
- Rusu, R. B., Marton, Z. C., Blodow, N., Dolha, M. and Beetz, M. (2008). Towards 3D Point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems*, **56**: 927-941.
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F., and 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*, **2**: 11-20.
- Salah, M., Trinder, J. and Shaker, A. (2009). Evaluation of the self-organizing map classifier for building detection from LiDAR data and multispectral aerial images. *Journal of Spatial Science*, **54**: 15-34.
- Sampath, A. and Shan, J. (2007). Building boundary tracing and regularization from

- LiDAR point cloud. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **73**: 805-812.
- Scharstein, D., Szeliski, R. and Zabih, R. (2002). A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms. *International Journal of Computer Vision*, **47**: 131-140.
- Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., and Szeliski, R. (2006). A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, 22 June, 48-56.
- Serra, J. P. (1983). Image Analysis and Mathematical Morphology (Vol. 1). Orlando: Academic Press Inc., Orlando, USA.
- Shafer, G. (1967). A Mathematical Theory of Evidence. Princeton University, USA.
- Shapovalov, R., Velizhev, A. and Barinova, O. (2010). Non-associative Markov networks for 3D point cloud classification. In ISPRS Symposium, Saint-Mandé, 3 September, 103-108.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In 23rd ACM national conference, New York, 29 August, 517-524.
- Shufelt, J. A. (1999). Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **21**: 311-326.
- Shufelt, J. A. and Mckeown, D. M. (1993). Fusion of Monocular Cues to Detect Man-Made Structures in Aerial Imagery. *Image Understanding*, **57**: 307-330.
- Singh, P. P., and Garg, R. D. (2013). A hybrid approach for information extraction from high resolution satellite imagery. *International Journal of Image and Graphics*, **13**:28-36.
- Sibson, R. (1981). A brief description of natural neighbour interpolation. In V Barnett, editor, *Interpreting Multivariate Data*, Wiley, New York, USA.
- Sithole, G. (2001). Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. In ISPRS Symposium, Annapolis, 24 October, 203-210.

- Sithole, G. and Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **59**: 85-101.
- Snavely, N. (2008). Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections: A Survey. University of Washington, USA.
- Sohn, G. and 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.
- Song, J. H., Han, S. H., Yu, K. Y. and Kim, Y. I. (2002). Assessing the possibility of land-cover classification using LiDAR intensity data. In ISPRS Symposium, Ottawa, 12 July, 259-263.
- Song, W. and Haithcoat, T. L. (2005). Development of comprehensive accuracy assessment indexes for building footprint extraction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**: 402-404.
- Spetsakis, M. and Aloimonos, J. Y. (1991). A multi-frame approach to visual motion perception. *International Journal of Computer Vision*, **6**: 245-255.
- Stein, F. and Medioni, G. (1992). Structural indexing: efficient 2-D object recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **14**: 1198-1204.
- Sun, Z., Fang, H., Deng, M., Chen, A., Yue, P. and Di, L. (2015). Regular shape similarity index: A novel index for accurate extraction of regular objects from remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **53**: 3737-3748.
- Szeliski, R. and Kang, S. B. (1994). Recovering 3D shape and motion from image streams using nonlinear least squares. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, **5**: 10-28.
- Tóvári, D. and Vögtle, T. (2004). Classification methods for 3D Objects in laserscanning data. In ISPRS Symposium, Istanbul, 23 July, 408-413.
- Umbaugh, S. E. (1997). Computer vision and image processing: A practical approach using CVIP tools. Prentice Hall, USA.

- UN-HABITAT. (2012) State of the World's Cities 2012/2013: United Nations Human Settlements Programme Report, New York, USA.
- Uzar, M. (2014). Automatic building extraction with multi-sensor data using rule-based classification. *European Journal of Remote Sensing*, **47**: 1-18.
- Uzar Dinlemek, M. (2012). Otomatik bina çıkarımı uygulamalarında çoklu algılama sistemi verilerinin kullanım olanaklarının analizi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ünsalan, C. ve Erçil, A. (1997). Doku analiz yöntemleri ile tahta yüzeyleri kalite kontrolü otomasyonu. In Proceedings of IEEE SIU, Kusadasi, 15 May, 264-271.
- Vacca, G., Dessì, A. and Sacco, A. (2017). The use of nadir and oblique uav images for building knowledge. *International Journal of Geo-Information*, **6**: 386-393.
- Verma, V., Kumar, R. and Hsu, S. (2006.). 3D building detection and modeling from aerial LiDAR data. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, 22 June, 63-69.
- Vogle, T. and Steinle, E. (2000). 3D modelling of buildings using laser scanning and spectral information. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 22 July, 927-934.
- Volkman, W., and Barnes, G. (2014). Virtual surveying : mapping and modeling cadastral boundaries using unmanned aerial systems (UAS). In FIG Congress, Kuala Lumpur, 21 June, 1-8.
- Voronoi, G. (1908). Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. *Journal Für Die Reine Und Angewandte Mathematik*, **133**: 97-178.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. In ISPRS Symposium, Amsterdam, 22 July, 678-684.
- Vu, T. T., Matsuoka, M. and Yamazaki, F. (2004). LiDAR-based change detection of buildings in dense urban areas. In ISPRS Symposium, Anchorage, 24 September, 109-114.
- Vu, T. T., Yamazaki, F. and Matsuoka, M. (2009). Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data. *International Journal of Applied Earth*

Observation and Geoinformation, **11**: 281-289.

- Walter, V. (2004). Object-based classification of remote sensing data for change detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **58**: 225-238.
- Wei, Y., Yao, W., Wu, J., Schmitt, M. and Stilla, U. (2012). Adaboost-based feature relevance assessment in fusing LiDAR and image data for classification of trees and vehicles in urban scenes. In ISPRS Symposium, Melbourne, 25 August, 323-329.
- Weidner, U. and Förstner, W. (1995). Towards automatic building extraction from high-resolution digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **50**: 38-49.
- Whiteside, T. and Ahmad, W. (2005). A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in Northern Australia. In Proceedings of SSC, Melbourne, 16 September, 1225-1231.
- Xu, H., Lu, C., Berendt, R., Jha, N. and Mandal, M. (2018). Automated analysis and classification of melanocytic tumor on skin whole slide images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **66**:124-134.
- Xu, S., Vosselman, G. and Elberink, S. O. (2014). Multiple-entity based classification of airborne laser scanning data in urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **88**: 1-15.
- Yang, B., Xu, W. and Dong, Z. (2013). Automated extraction of building outlines from airborne laser scanning point clouds. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, **10**: 1399-1403.
- Zarea, A., and Mohammadzadeh, A. (2016). A Novel Building and Tree Detection Method from LiDAR Data and Aerial Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **9**: 1864-1875.
- Zhan, Q., Liang, Y., Wei, C., and Xiao, Y. (2012). Ground object recognition using combined high resolution airborne images and DSM. In ISPRS Symposium, Melbourne, 25 August, 573-577.
- Zhan, Q. and Yu, L. (2011). Objects classification from laser scanning data based on

- multi-class support vector machine. In *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering Conference*, Nanjing, 26 June, 320-328.
- Zhang, J., Lin, X. and Ning, X. (2013). SVM-Based classification of segmented airborne LiDAR point clouds in urban areas. *Remote Sensing*, **5**: 3749-3775.
- Zhang, K., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J. and Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **41**: 872-882.
- Zhang, K., Yan, J. and Chen, S.-C. (2006). Automatic construction of building footprints from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**: 2523-2533.
- Zhang, S. (1993). *Numerical Algorithms in C Language*. Haiyang Press, China.
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X.,- and Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, **8**: 501-511.
- Zhang, Y. (1999). Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54**: 50-60.
- Zhou, Q.-Y. and Neumann, U. (2008). Fast and extensible building modeling from airborne LiDAR data. In *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems*, California, 7 November, 323-328.
- Zhou, Y., Zhao, H., Chen, M., Tu, J. and Yan, L. (2018). Automatic detection of lunar craters based on DEM data with the terrain analysis method. *Planetary and Space Science*. Corrected Proof, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2018.03.003>.
- Zingaretti, P. and Frontoni, E. (2007). Automatic extraction of LiDAR data classification rules Primo. In *14th International Conference on Image Analysis and Processing*, Modena, 14 September, 36-42.



İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.forestry.gov.uk/forestry/INFD-6RVC9J> , 11.02.2015
- 2) http://docs.pointclouds.org/trunk/classpcl_1_1_statistical_outlier_removal.html#a891c56e75fb803f7307bbbd9648e32f1, 16.10.2017
- 3) <https://www.dji.com/phantom-3-pro/info>, 17.05.2016
- 4) <http://www2.isprs.org/commissions/comm3/wg4/results.html>, 12.02.2018



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nizar POLAT
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa 1986
Yabancı Dili : İngilizce (KPDS 70 puan)
İletişim (Telefon/e-posta) : (555) 743 97 06 / nizarpolat@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şanlıurfa Anadolu Lisesi, (2001-2005)
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik
Mühendisliği Bölümü, (2006-2012)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2012-2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği
Araştırma Görevlisi 2012- Devam.

Yayınları (SCI ve diğer indeksli makaleler) :

1) POLAT Nizar, UYSAL Murat (2018). An Experimental Analysis of Digital Elevation Models Generated with LiDAR Data and UAV Photogrammetry. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Doi: 10.1007/s12524-018-0760-8.

2) TOPRAK Ahmet Suad, UYSAL Murat, POLAT Nizar, (2018). 3D modeling of lion tombstones with UAV photogrammetry: a case study in ancient Phrygia (Turkey). Archaeological and Anthropological Sciences, Doi: 10.1007/s12520-018-0649-z.

3) POLAT Nizar, UYSAL Murat, TOPRAK Ahmet Suad (2015). An investigation of DEM generation process based on LiDAR data filtering decimation and interpolation methods for an urban area. Measurement, 75, 50-56., Doi: 10.1016/j.measurement.2015.08.008

- 4) UYSAL Murat, TOPRAK Ahmet Suad, POLAT Nizar (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. Measurement, 73, 539-543., Doi: 10.1016/j.measurement.2015.06.010
- 5) POLAT Nizar, UYSAL Murat (2015). Investigating performance of Airborne LiDAR data filtering algorithms for DTM generation. Measurement, 63, 61-68., Doi: 10.1016/j.measurement.2014.12.017
- 6) UYSAL Murat, POLAT Nizar (2015). An Investigation Of The Relationship Between Land Surface Temperatures And Biophysical Indices Retrieved From Landsat Tm In Afyonkarahisar Turkey. Technical Gazette, 22, 177-181., Doi: 10.17559/TV-20140514212110
- 7) POLAT Nizar, UYSAL Murat (2017). Yoğun Nokta Bulutunda Bina Çatı Yüzeylerinin Tespiti. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 248-252.
- 8) USLU Ahmet, POLAT Nizar, TOPRAK Ahmet Suad, UYSAL Murat (2016). Sampling of 3D Modelling of Cultural Heritage Using Photogrammetric Method. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Doi: 10.15659/hartek.16.08.302
- 9) YALÇIN Mustafa, KILIÇ Gül Fatmagül, YILDIZ Ahmet, MUSAOĞLU Nebiye, BAYRAM Bülent, POLAT Nizar, BAŞARAN Can (2017). Jeotermal Keşifler İçin Hidrotermal Alterasyon Minerallerinin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Tespit Edilmesi: Akarçay Havzası (Afyonkarahisar) Örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- 10) UYSAL Murat, TURGUT Bayram, POLAT Nizar, YALÇIN Mustafa, DERELİ Mehmet Ali, (2017). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Açık Maden Ocaklarında Bor Minerallerinin Tespiti. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 270-276.

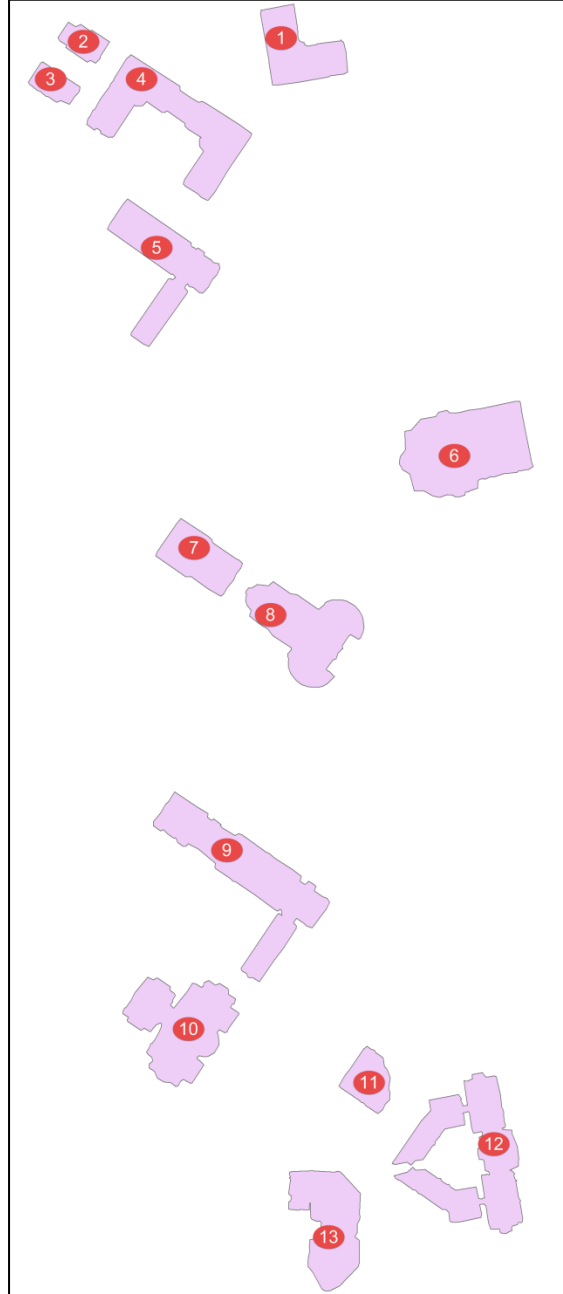
11) POLAT Nizar, UYSAL Murat (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Afyon Kocatepe, 16(3), 679-692., Doi: 10.5578/fmbd.41390

12) TİRYAKİOĞLU İbrahim, UYSAL Murat, ERDOĞAN Saffet, YALÇIN Mustafa, POLAT Nizar, TOPRAK Ahmet Suad (2016). 3D Building Modelling and WEB Based Presentation A Case Study In Ahmet Necdet Sezer Campus. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, 16(1), 107-114., Doi: 10.5578/fmbd.10042



EKLER

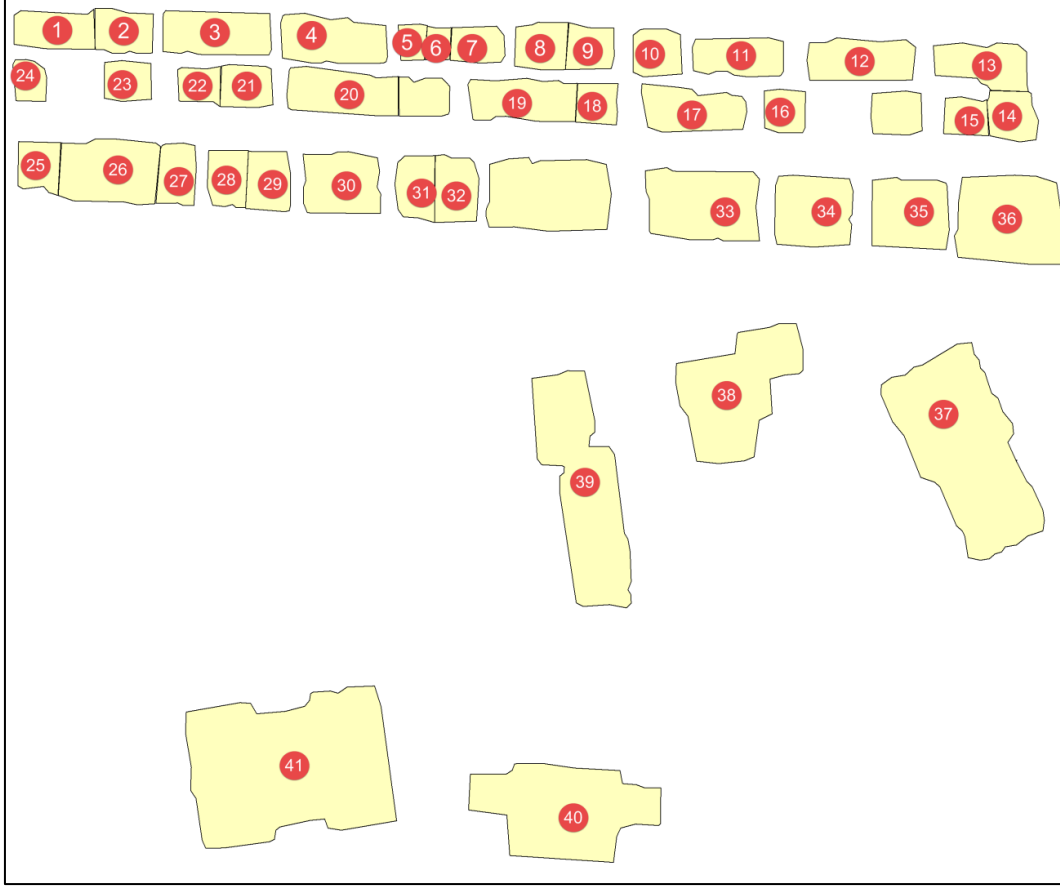
EK 1. Kampüs test alanı bina krokisi.



Ek 2. Kampüs test alanı binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	99,683	95,883	95,592
2	100,000	80,703	80,703
3	99,999	81,843	81,842
4	99,999	84,611	84,611
5	99,999	85,434	85,433
6	99,998	91,614	91,613
7	97,017	85,484	83,295
8	99,896	90,707	90,622
9	99,793	87,597	87,438
10	99,969	87,254	87,231
11	99,737	89,401	89,191
12	99,352	83,528	83,076
13	89,523	92,145	83,175
Ortalama	98,843	87,400	86,448

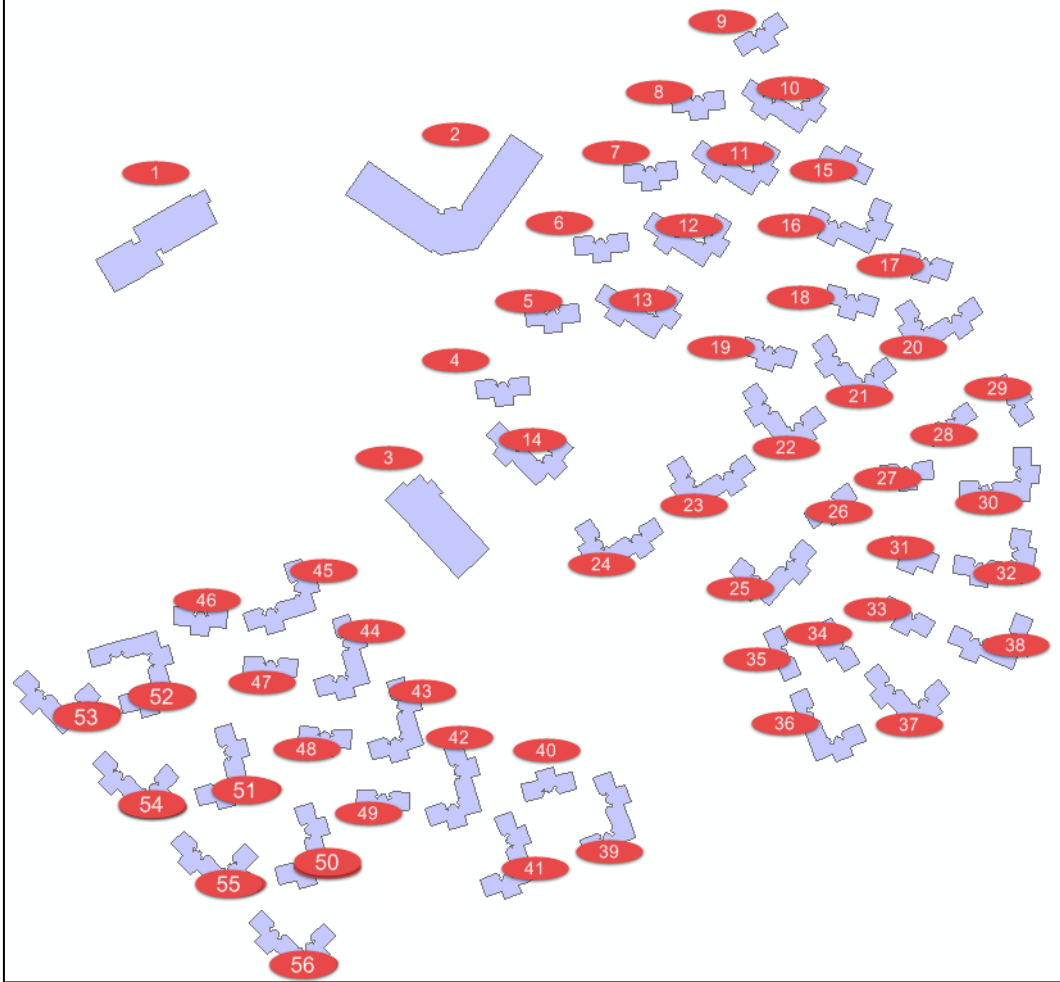
EK 3. İstanbul test alanı bina krokisi. Sadece referans veride karşılığı olan ve referansta ayrıık olan binalar tek bina sayılarak numaralandırılmıştır.



Ek 4. İstanbul test alanı binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	78,435	100	78,435	22	85,470	96,329	82,775
2	89,252	97,443	87,210	23	83,334	97,913	81,880
3	88,486	98,675	87,447	24	100,56	97,327	97,862
4	88,391	99,225	87,786	25	81,666	95,609	78,714
5	74,380	97,833	73,175	26	81,340	99,984	81,329
6	69,704	99,980	69,695	27	93,339	96,282	90,092
7	78,522	98,808	77,786	28	90,046	93,406	84,664
8	87,566	99,947	87,525	29	78,177	99,754	78,027
9	83,206	99,765	83,043	30	88,860	99,054	88,112
10	78,190	100	78,190	31	83,521	99,765	83,358
11	82,320	99,086	81,700	32	84,219	99,795	84,074
12	82,796	99,874	82,710	33	91,549	95,523	87,783
13	83,088	99,801	82,951	34	84,967	100	84,967
14	89,233	97,596	87,314	35	83,829	100	83,829
15	78,143	97,683	76,722	36	93,665	99,433	93,168
16	86,810	97,639	85,025	37	92,397	96,647	89,528
17	82,837	97,355	81,014	38	97,138	95,177	92,581
18	86,750	93,222	81,603	39	85,681	99,369	85,218
19	88,713	99,019	87,940	40	84,245	99,923	84,191
20	85,603	98,066	84,183	41	91,823	99,920	91,756
21	91,635	95,777	88,076	Ortalama	85,607	98,244	84,230

EK 5. Bergama test alanı bina krokisi. Sadece referans veride karşılığı olan binalar numaralandırılmıştır.



Ek 6. Bergama test alanı LiDAR verisi binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	98,302	94,286	92,775	29	92,613	93,012	86,588
2	95,656	97,519	93,384	30	94,804	96,721	91,853
3	93,038	96,849	90,305	31	88,781	96,370	85,908
4	95,051	94,852	90,388	32	93,404	96,163	90,048
5	94,210	94,800	89,581	33	87,751	96,371	84,945
6	92,889	96,420	89,792	34	90,525	95,695	86,983
7	95,626	96,135	92,086	35	90,798	94,740	86,441
8	94,308	95,843	90,602	36	93,658	93,698	88,108
9	93,887	95,199	89,642	37	94,615	93,271	88,569
10	94,215	93,238	88,189	38	93,940	95,426	89,893
11	93,684	93,231	87,718	39	93,380	94,749	88,785
12	93,521	93,762	88,043	40	92,948	94,886	88,515
13	92,955	92,692	86,608	41	91,820	96,320	88,709
14	94,215	91,365	86,512	42	93,272	95,339	89,205
15	92,690	93,757	87,302	43	93,492	92,471	86,880
16	93,233	95,890	89,650	44	92,963	93,412	87,243
17	92,735	95,700	89,026	45	94,408	94,572	89,556
18	90,247	96,572	87,446	46	90,160	96,512	87,316
19	89,555	96,447	86,694	47	92,131	96,208	88,904
20	94,962	94,646	90,121	48	87,584	96,483	84,875
21	94,223	92,776	87,783	49	89,270	96,209	86,237
22	93,769	92,392	87,047	50	91,222	93,624	85,887
23	93,498	94,547	88,714	51	92,769	94,246	87,797
24	88,527	87,930	78,935	52	93,203	91,185	85,500
25	94,109	94,425	89,155	53	93,790	91,378	86,165
26	94,087	97,230	91,631	54	92,080	92,056	85,303
27	90,189	97,294	87,982	55	92,366	91,361	84,947
28	93,417	97,304	91,060	56	92,664	91,706	85,499
Ortalama					92,807	94,594	88,129

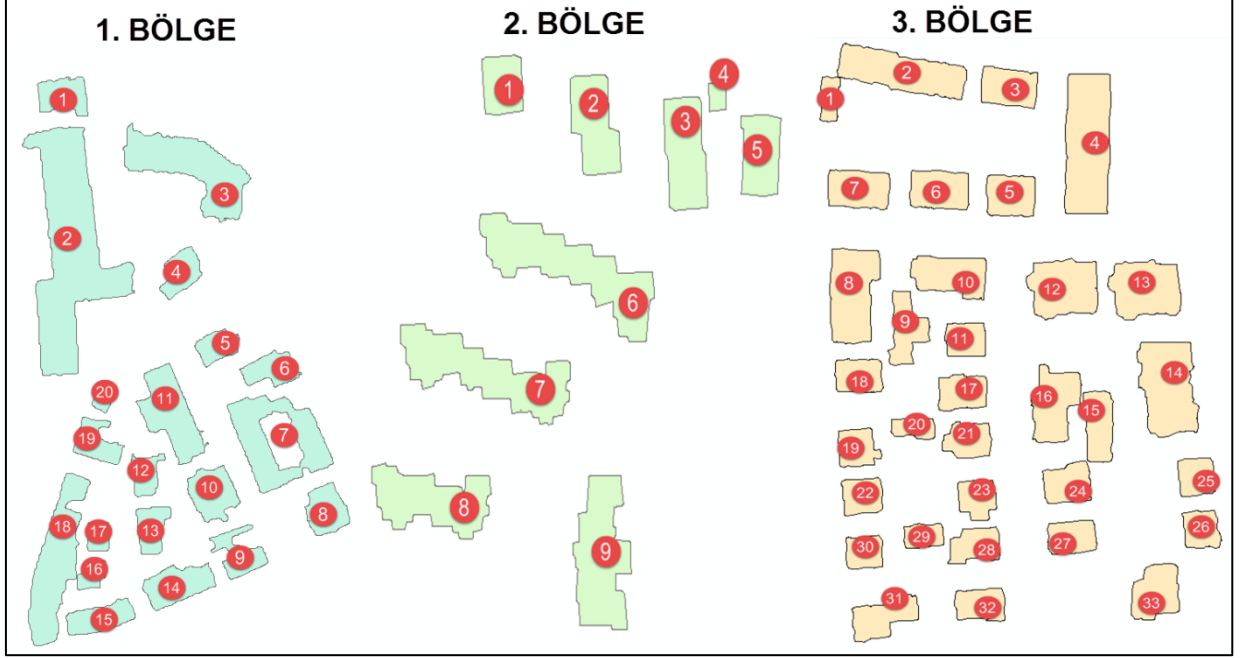
Ek 7. Bergama test alanı Nadir verisi binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	99,937	85,167	85,121	29	99,288	89,947	89,370
2	99,931	89,876	89,820	30	99,860	91,612	91,494
3	99,852	98,538	98,394	31	97,375	92,210	89,973
4	99,961	85,988	85,959	32	99,016	91,567	90,742
5	99,976	84,763	84,746	33	96,455	92,259	89,233
6	99,932	86,841	86,790	34	98,886	91,763	90,825
7	99,791	84,926	84,775	35	98,776	92,489	91,441
8	99,586	85,641	85,338	36	99,341	89,619	89,090
9	98,412	89,950	88,663	37	99,271	89,437	88,854
10	99,198	89,398	88,757	38	99,287	89,187	88,620
11	98,271	91,278	89,835	39	99,516	91,594	91,188
12	98,994	91,494	90,651	40	99,606	88,451	88,143
13	99,474	91,117	90,680	41	99,478	91,242	90,808
14	99,077	91,727	90,950	42	99,578	91,166	90,815
15	99,292	88,019	87,470	43	99,689	90,343	90,089
16	99,291	90,719	90,135	44	99,758	90,210	90,013
17	99,400	90,987	90,490	45	98,820	91,423	90,436
18	99,127	92,124	91,382	46	99,678	91,020	90,753
19	98,773	93,460	92,388	47	99,106	89,877	89,154
20	99,283	91,023	90,429	48	97,259	93,100	90,720
21	99,324	91,345	90,780	49	98,877	92,558	91,596
22	99,582	91,284	90,936	50	99,274	90,455	89,861
23	99,467	92,025	91,573	51	98,224	88,325	86,937
24	99,636	91,995	91,687	52	98,740	91,421	90,367
25	99,338	90,498	89,955	53	99,032	91,545	90,733
26	99,198	90,813	90,151	54	99,018	91,409	90,587
27	98,881	91,403	90,467	55	99,058	90,460	89,688
28	99,397	91,241	90,739	56	99,331	90,500	89,952
Ortalama					99,178	90,515	89,831

Ek 8. Bergama test alanı Eğik verisi binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	98,450	92,200	90,880	29	78,029	86,107	69,304
2	92,531	96,906	89,876	30	85,024	90,328	77,929
3	86,590	99,745	86,399	31	83,008	94,115	78,912
4	92,269	96,172	89,001	32	85,147	89,072	77,093
5	89,552	94,622	85,214	33	85,825	93,208	80,773
6	88,185	92,859	82,585	34	82,420	94,477	78,631
7	87,436	89,903	79,618	35	82,601	93,022	77,781
8	86,079	87,946	76,995	36	88,657	91,654	82,034
9	88,233	90,533	80,780	37	88,384	90,078	80,543
10	83,037	88,539	74,977	38	87,235	89,526	79,156
11	85,314	91,572	79,103	39	88,649	94,834	84,565
12	87,677	92,713	82,024	40	88,554	93,515	83,431
13	89,847	93,446	84,521	41	87,107	95,623	83,767
14	91,629	97,466	89,497	42	90,059	96,484	87,197
15	81,851	86,586	72,639	43	90,582	96,903	88,033
16	82,601	90,525	76,029	44	91,881	97,009	89,350
17	82,792	89,518	75,475	45	93,150	97,449	90,933
18	80,816	93,951	76,819	46	85,859	97,838	84,260
19	81,959	95,138	78,664	47	88,222	96,856	85,766
20	85,586	90,236	78,332	48	83,478	96,978	81,362
21	85,720	91,764	79,596	49	82,274	97,211	80,377
22	88,085	92,682	82,357	50	86,551	95,312	83,016
23	88,769	95,746	85,400	51	88,645	95,264	84,903
24	88,803	93,458	83,606	52	89,288	92,815	83,516
25	87,013	93,230	81,841	53	88,230	93,586	83,199
26	83,787	91,065	77,422	54	87,349	92,544	81,606
27	83,357	92,723	78,238	55	85,690	93,488	80,863
28	83,306	89,606	75,965	56	85,495	92,411	79,886
Ortalama					86,762	93,188	81,644

EK 9. Vaihingen test alanı alt bölgelerine ait bina krokisi. Sadece referans veride karşılığı olan ve referansta ayırık olan binalar tek bina sayılarak numaralandırılmıştır.



Ek 10. Vaihingen test alanı 1. Bölge binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	81,320	100,000	81,320
2	83,557	96,932	81,404
3	87,462	98,310	86,167
4	79,519	99,879	79,443
5	83,749	97,399	81,917
6	73,326	99,346	72,974
7	80,773	99,967	80,752
8	83,151	99,994	83,147
9	65,109	99,547	64,916
10	87,671	97,480	85,729
11	74,679	99,609	74,460
12	62,358	94,758	60,279
13	65,723	99,992	65,720
14	85,073	97,847	83,510
15	81,457	100,000	81,457
16	73,080	100,000	73,080
17	80,279	99,455	79,927
18	86,409	98,847	85,547
19	73,660	96,780	71,898
20	58,466	99,979	58,459
Ortalama	77,341	98,806	76,605

Ek 11. Vaihingen test alanı 1. Bölge binalarına ait ISPRS çalışma grubu tarafından yayınlanan analiz sonuçları (%).

ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
CAL1	89,1	94,7	84,9	RMA	88,7	91,7	83,5
FIE	87	92,4	81,2	LJU2	91,6	92,4	85,2
HANC1	89,9	90,2	81,9	ZJU	94,6	93,1	88,4
HANC2	93,2	94,1	88,1	DLR	92,1	95,2	88,0
LJU1	76,7	95,9	74,3	HANC3	91,9	95,4	88,0
TON	89,8	92,2	83,5	SZU	90,8	94,5	86,2
TUM	85,7	98,1	84,3	WHU_QC	92,9	88,8	83,2
VSK	84,4	83,9	72,6	MON2	83,7	98,1	82,4
WHUZ	93,8	90,5	85,4	IIST	88,1	90	80,2
HAND	87,9	91,2	81,0	KNTU_mod	75,8	74,3	60,1
WHUY1	87,1	94,4	82,8	WROC	91,4	94,3	86,6
Mar1	76,7	93,8	73,0	FED_1	84,9	86,5	75,0
KNTU	89,7	93,2	84,2	FED_2	85,4	86,6	75,4
WHUY2	89,7	89,6	81,2	IIST2	80,7	82,4	68,8
MEL	89,7	83,4	76,1	WHU_ZZ	90,1	96,5	87,2
MON	92,7	88,7	82,9	MON3	93,5	86	81,1
UMTP	89	87,3	78,8	WHU_YD	91,8	98,6	90,6
UMTA	88,7	87,9	79,0	CSU	93,6	94,5	88,8
ITCM	93,3	86,5	81,4	MON4	92,1	83,9	78,3
ITCR	91,2	90,3	83,1	MON5	89	90,2	81,2
CAL2	87,7	97,2	85,5	HKP	92	97,4	89,8
Mar2	90,3	91,7	83,5	NP	77,34	98,8	76,6

Ek 12. Vaihingen test alanı 2. Bölge binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	99,827	93,338	93,188
2	98,870	96,092	95,048
3	98,817	96,535	95,432
4	95,029	81,016	77,723
5	94,410	77,828	74,399
6	98,278	93,711	92,197
7	96,079	95,306	91,737
8	98,204	94,862	93,244
9	96,570	95,076	91,970
Ortalama	97,343	91,529	89,438

Ek 13. Vaihingen test alanı 2. Bölge binalarına ait ISPRS çalışma grubu tarafından yayınlanan analiz sonuçları (%).

ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
CAL1	93,2	95,4	89,2	RMA	95,4	85,9	82,5
FIE	93,8	91,4	86,2	LJU2	95,1	94,3	89,9
HANC1	88,2	95,2	84,4	ZJU	94,4	97,7	92,3
HANC2	95,1	94,3	89,9	DLR	94,3	97	91,6
LJU1	88,5	98,9	87,6	HANC3	91,4	96,4	88,4
TON	92,5	93,9	87,3	SZU	95,6	88,6	85,1
TUM	85,4	98,4	84,2	WHU_QC	86,7	99,6	86,4
VSK	79,6	91,9	74,4	MON2	87,1	94	82,5
WHUZ	95,1	89,8	85,8	IIST	78,8	92,6	74,1
HAND	88,8	94	84,0	KNTU_mod	86,5	93,6	81,7
WHUY1	86,8	99,1	86,1	WROC	87,9	84,4	75,6
Mar1	86,8	88,2	77,8	FED_1	88,8	84,5	76,4
KNTU	90	93,9	85,0	FED_2	94,6	98,3	93,1
WHUY2	87,9	66,1	60,6	IIST2	86,2	90,3	78,9
MEL	91,5	91	83,9	WHU_ZZ	91,3	95,8	87,8
MON	94,8	85,6	81,8	MON3	97,2	84,3	82,3
UMTP	94,9	88,3	84,3	WHU_YD	87,3	99	86,5
UMTA	93,6	69,2	66,1	CSU	94,6	95,4	90,5
ITCM	94	89	84,2	MON4	97,2	83,5	81,5
ITCR	90,7	96,7	88,0	MON5	91	92,8	85,0
CAL2	89,9	97,8	88,1	HKP	93	98,4	91,6
Mar2	93,2	95,4	89,2	NP	97,34	91,93	89,44

Ek 14. Vaihingen test alanı 3. Bölge binalarına ait analiz sonuçları (%).

Binalar	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
1	99,215	94,237	93,539
2	97,976	95,724	93,868
3	99,954	93,652	93,612
4	99,858	90,507	90,391
5	98,718	95,675	94,501
6	99,152	97,581	96,774
7	98,550	98,738	97,323
8	96,608	94,141	91,129
9	99,938	92,238	92,185
10	71,946	66,298	52,679
11	99,236	96,083	95,377
12	95,690	96,512	92,491
13	93,717	98,012	91,970
14	97,990	97,086	95,190
15	95,622	98,581	94,323
16	98,841	92,942	91,941
17	94,155	97,168	91,640
18	96,979	98,306	95,385
19	99,369	88,472	87,978
20	96,447	98,061	94,642
21	88,530	99,171	87,880
22	97,423	91,754	89,580
23	97,237	88,041	85,893
24	98,432	97,560	96,067
25	96,031	97,727	93,933
26	98,786	92,525	91,485
27	95,161	94,795	90,436
28	92,464	98,907	91,529
29	85,843	98,572	84,789
30	98,773	95,781	94,654
31	92,137	95,957	88,694
32	99,191	88,691	88,054
33	99,072	93,708	92,892
Ortalama	96,032	94,339	90,995

Ek 15. Vaihingen test alanı 3. Bölge binalarına ait ISPRS çalışma grubu tarafından yayınlanan analiz sonuçları (%).

ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite	ISPRS Kodu	Üretici D.	Kullanıcı D.	Kalite
CAL1	87	95,2	83,3	RMA	91,3	92,4	84,9
FIE	89	86,9	78,5	LJU2	94,6	95,6	90,7
HANC1	93,8	93,7	88,2	ZJU	92	96,3	88,9
HANC2	92,5	94,3	87,6	DLR	93,7	95,5	89,7
LJU1	94,4	95,4	90,3	HANC3	91,6	96,7	88,8
TON	67,8	98,4	67,1	SZU	96,3	91,1	88,0
TUM	86,8	92,5	81,1	WHU_QC	87	98,3	85,7
VSK	86,3	98,7	85,3	MON2	87,7	89	79,1
WHUZ	76,9	92,6	72,4	IIST	86,2	78,4	69,7
HAND	91,9	90,6	83,9	KNTU_mod	88,3	99	87,5
WHUY1	85,2	89,5	77,5	WROC	93,4	88,1	82,9
Mar1	87	97,8	85,3	FED_1	88,7	85	76,7
KNTU	86,6	99,1	85,9	FED_2	89,9	84,7	77,3
WHUY2	89,4	89,1	80,6	IIST2	91	75,7	70,4
MEL	86,4	88,2	77,4	WHU_ZZ	86,1	94,9	82,3
MON	93,9	86,3	81,7	MON3	93,7	81,3	77,1
UMTP	93,5	85,2	80,4	WHU_YD	90,2	98,1	88,7
UMTA	93,4	86,2	81,3	CSU	93,9	94,7	89,2
ITCM	91,3	86,9	80,3	MON4	93,7	81,3	77,1
ITCR	89,1	92,5	83,1	MON5	89,7	87,9	79,8
CAL2	89,2	97,7	87,4	HKP	89,2	97,7	87,4
Mar2	88,9	96,2	85,9	NP	96,03	94,34	90,9