

**LİDAR NOKTA BULUTU VERİSİ VE YÜKSEK
ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ORTOFOTOLAR KULLANARAK BİNA
ÇIKARIMI İÇİN BİR YAKLAŞIM**

**AN APPROACH FOR BUILDING EXTRACTION USING
LiDAR POINT CLOUD DATA AND HIGH RESOLUTION
ORTHOPHOTOS**

GİZEM KARAKAŞ

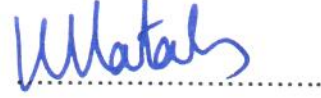
PROF. DR. MUSTAFA TÜRKER
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

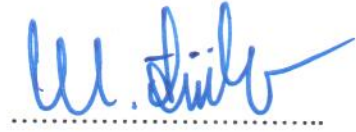
2018

GİZEM KARAKAŞ' ın hazırladığı “**Lidar Nokta Bulutu Verisi Ve Yüksek Çözünürlüklü Ortofotolar Kullanarak Bina Çıkarımı İçin Bir Yaklaşım**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Volkan ATALAY
Başkan



Prof. Dr. Mustafa TÜRKER
Danışman



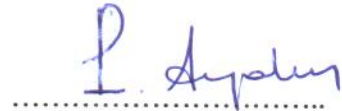
Prof. Dr. Tekin YÜRÜR
Üye



Prof. Dr. Erhan TERCAN
Üye



Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin / raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ **Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren Ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

30 /11 /2018



GİZEM KARAKAŞ

ETİK

Hacettepe 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 üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/11/2018



GİZEM KARAKAŞ

ÖZET

LİDAR NOKTA BULUTU VERİSİ VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ORTOFOTOLAR KULLANARAK BİNA ÇIKARIMI İÇİN BİR YAKLAŞIM

Gizem KARAKAŞ

Yüksek Lisans, Geomatik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa TÜRKER

Kasım 2018, 100 sayfa

Günümüzde Uzaktan Algılama alanındaki sensör teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte nesne belirleme çalışmalarında önemli bir artış olmuştur. Özellikle LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisi ve yüksek konumsal çözünürlüklü ortofotolar gibi uzaktan algılama verilerinden bina belirlenmesi yaygın ve önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü renkli (Kırmızı, Yeşil, Mavi) ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verilerinden otomatik bina çıkarımı ve geriçatımı için Hough dönüşümü, algısal gruplama ve tohum bölge büyütme tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin ilk adımı olan ön işlemler, ortofoto ve LiDAR verilerinin koordinat eşlemesi, LiDAR verisinden gürültünün temizlenmesi ve yer filtrelemesi işlemlerini içermektedir. Sonra, LiDAR nokta bulutu verisinden sayısal yüzey modeli (SYM), sayısal arazi modeli (SAM) ve normalize edilmiş SYM (nSYM), ortofotodan da VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) bitki indeksi oluşturulur. Sadece bitki ve bina nesnelerinin kalması amacıyla, nSYM verisine bir eşik değeri uygulanarak eşiklenmiş nSYM elde edilir. Eşiklenmiş nSYM verisinden bitki indeksi bandı kullanılarak bitki örtüsü alanlar maskelenir ve yalnız bina alanlarının kalması sağlanır. Bina alanlarının bulunmasından sonra, DoG (Difference of Gaussian) filtresi ile

ortofotodan kenarlar çıkarılır. Elde edilen kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile binaları oluşturan çizgi segmentleri çıkarılır ve geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bu çizgi segmentlerinden bina sınırları çatılır. Çatılan bina sınırları içinde kalan alanlar bir sonraki tohum bölge büyütme segmentasyonu adımı için başlangıç tohum alanları olarak alınır ve bu alanlardan başlayarak gerçekleştirilen segmentasyon işlemi ile binalar belirlenir. Yöntem, Bergama'dan seçilen farklı özelliklere sahip 10 test alanı üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluk analizleri, ortofoto üzerinden elle çizilerek oluşturulan referans veriyle karşılaştırılmak suretiyle yapılmıştır. Algısal gruplama algoritması ile elde edilen sonuçların piksel-tabanlı ve nesne-tabanlı ortalama doğruluk değerleri BDCCom (Building Detection Completeness – Bina Belirleme Bütünlüğü) için sırasıyla %82.56 ve %96.75, BDCor (Bina Belirleme Doğruluğu – Building Detection Correctness) için sırasıyla %84.00 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Piksel-tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre, kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemi ortalama BDCCom ve BDCor doğruluk oranları sırasıyla %89.82 ve %96.37 olarak hesaplanmıştır. Nesne-tabanlı doğruluk analizleri sonuçlarına göre, ortalama BDCCom ve BDCor doğruluk oranları sırasıyla, %84 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Piksel-tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre, kombine yöntemin doğruluk değerlerinde algısal gruplama yöntemi doğruluk değerlerine göre BDCCom için %7.26 ve QPct (Kalite Yüzdesi–Quality Percentage) için %6.71 artış olmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, geliştirilen yöntemin renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verilerinden bina çıkarımında oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: LiDAR, Yüksek Çözünürlüklü Renkli Ortofoto, SYM, SAM, nSYM, DoG Filtresi, Hough Dönüşümü, Algısal Gruplama, Tohum Bölge Büyütme Segmentasyonu

ABSTRACT

AN APPROACH FOR BUILDING EXTRACTION USING LiDAR POINT CLOUD DATA AND HIGH RESOLUTION ORTHOPHOTOS

Gizem KARAKAŞ

Master of Sciences, Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TÜRKER

November 2018, 100 pages

Nowadays, with the development of sensor technologies in remote sensing, there has been a significant increase in object detection studies. Particular, building detection is among the common fields and important applications from remote sensing data such as LiDAR (Light Detection and Ranging) point cloud data and high spatial resolution orthophotos. In this study, a method based on Hough transform, perceptual grouping and seeded region growing has been developed for automatic building extraction and reconstruction from high resolution color (Red, Green, Blue) orthophotos and LiDAR point cloud data. The first stage of the method is pre-processing, which includes the registration of LiDAR data and orthophotos, noise removal and ground filtering from LiDAR point cloud data. Then, Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM) and normalized Digital Surface Model (nDSM) are generated from LiDAR point cloud data, and VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) vegetation index is generated from orthophoto. A threshold is applied to nDSM in order to separate the high vegetation areas and buildings from the low height objects. Next, the vegetation areas are masked from the thresholded nDSM by using the vegetation index band and therefore only the building areas remained. After detecting the building areas, the edges are extracted from orthophoto with the DoG (Difference of Gaussian) filter. Line segments that form buildings are extracted from the obtained edge

image using Hough transform, and the building boundaries are constructed from these line segments using the developed perceptual grouping rules. The areas within the constructed building boundaries are then taken as the seed regions and buildings are detected using the seeded region growing segmentation operation.

The method was applied on ten test fields with different characteristics selected from the city of Bergama, Turkey. Accuracy assessments of the obtained results were carried out by comparing them with the reference data which was generated by manual drawing from orthophoto. Based on the obtained results of the perceptual grouping algorithm, the pixel-based and object-based average accuracy values were %82.56 and %96.75 for BDCor. (Building Detection Completeness) and %84 and %100 for BDCor. (Building Detection Correctness), respectively. Based on the results of pixel-based accuracy analysis, the average BDCor. and BDCor. accuracy rates of the combined perceptual grouping and seeded region growing segmentation method were %89.82 and %96.37, respectively. Based on the results of object-based accuracy analysis, the average BDCor. and BDCor. accuracy rates were %84 and %100, respectively. According to the results of pixel-based accuracy assessment, the combined method provided the accuracy increase of %7.26 for BDCor and %6.71 for QPct (Quality Percentage) when compared with the results of perceptual grouping method. The results achieved in this study demonstrate that the developed method is quite successful in the extraction of buildings from color orthophoto and LiDAR point cloud data.

Keywords: LiDAR, High Resolution Color Orthophoto, DSM, DTM, nDSM, DoG Filter, Hough Transform, Perceptual Grouping, Seeded Region Growing Segmentation

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca, beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yol gösteren, desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mustafa TÜRKER'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Değerli görüş ve eleştirileri ile çalışmama jüri olarak katkı sağlayan, kıymetli zamanlarını ayıran değerli hocalarım Prof. Dr. Tekin YÜRÜR'e, Prof. Dr. Erhan TERCAN'a, Prof. Dr. Volkan ATALAY'a ve Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kullanılan LiDAR nokta bulutu verileri için HGM' ne (Harita Genel Müdürlüğü) ve renkli ortofoto verileri için TKGM' ne (Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü) teşekkür ederim.

Tez süresi boyunca yardımları, yorum ve değerlendirmeleri ile çalışmama katkı sağlayan saygın hocalarım Arş. Gör. Dr. Serkan URAL'a ve Arş. Gör. Azer İLGAR'a teşekkür ederim.

Tezimle ilgili uygulamalarımı gerçekleştirmemde bana her zaman yardımcı olan, bilgi ve birikimini esirgemeyen çok değerli arkadaşım Arş. Gör. Mehmet Fikret ÖCAL'a ve manevi desteğini her zaman hissettiren Seçil ÖCAL'a sonsuz teşekkür ederim.

Hacettepe Üniversitesi'nde göreve başladığımdan beri, çalışmam boyunca aldığım derslerde ve projelerde bilgi, birikim ve deneyimleri ile yanımda olan değerli hocalarıma, arkadaşlarıma ve Mehmet BÜYÜKDEMİRCİOĞLU' na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım annem, babam ve kardeşime teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca hep yanımda olan, gösterdiği anlayış, yardım ve teşvik ile beni motive eden ve her zaman en büyük destekçim sevgili eşim Veysel Emre KARAKAŞ'a ve O'nun hayatı boyunca her zaman yanında olan sevgili ailesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELER	viii
EŞİTLİKLER	ix
ŞEKİLLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı	2
1.2. Tezin Organizasyonu	3
1.3. Kullanılan Yazılımlar	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Yüksek çözünürlüklü görüntü kullanılarak yapılan çalışmalar	4
2.2. LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalar	5
2.3. Yüksek çözünürlüklü görüntü ve LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalar	6
3. YÖNTEM	12
3.1. Bina alanlarının bulunması	15
3.1.1. Ortofoto görüntüsünün LiDAR nokta bulutu verisine referanslandırılması	15
3.1.2. Gürültü giderme	16
3.1.3. Zemin ve zemin üstü sınıfların ayrımı	17
3.1.4. SYM, SAM ve nSYM oluşturma	20
3.1.5. Bitki örtüsü alanların belirlenmesi	25
3.1.6. Bina alanlarının tespit edilmesi	26
3.2. Hough dönüşümü ile bina sınırlarının belirlenmesi	28
3.2.1. Difference of Gaussians (DoG) filtresi ile kenar belirleme	29
3.2.2. Bina kenarlarının Hough dönüşümü ile çıkarılması	33
3.2.3. Algısal gruplama kuralları ile bina sınırlarının çıkarılması	36
3.3. Çatılan bina sınırları içinde Tohum Bölge Büyütme Algoritması uygulanması	43
4. TESTLER VE BULGULAR	48
4.1. Test Alanları ve Veriler	48
4.2. Doğruluk Analizleri	51

4.3. Elde edilen Bulgular	53
4.3.1. Algısal Gruplama İle Bina Tespiti	53
4.3.2 Algısal Gruplama ve Tohum Bölge Büyütme İle Bina Tespiti.....	56
4.3.3 Bina alanları kenarlarının çıkarılması	59
4.3.4. Bina sınırları çizgi segmentlerinin çıkarılması.....	65
5. SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83



ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 3.1. Test alanlarında zemin ve zemin üstü ayrımı için belirlenen parametre değerleri	20
Çizelge 4.1. Test alanlarının koordinatları	50
Çizelge 4.2. Test alanlarına ait LiDAR verisi nokta sayıları ve nokta yoğunlukları	51
Çizelge 4.3. Algısal gruplama ile elde edilen sonuçların piksel tabanlı doğruluk yüzdeleri	53
Çizelge 4.4. Algısal gruplama ile elde edilen sonuçların nesne tabanlı doğruluk yüzdeleri	53
Çizelge 4.5. Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi ile elde edilen sonuçların piksel tabanlı doğruluk analizi değerleri.....	56
Çizelge 4.6. Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi ile elde edilen sonuçların nesne tabanlı doğruluk analizi değerleri	57
Çizelge 4.7. Test alanlarında kullanılan Hough dönüşümü parametreleri değerleri	65

EŞİTLİKLER

	<u>Sayfa</u>
Eşitlik 3.1.....	25
Eşitlik 3.2.....	25
Eşitlik 3.3.....	30
Eşitlik 3.4.....	30
Eşitlik 3.5.....	30
Eşitlik 3.6.....	30
Eşitlik 3.7.....	31
Eşitlik 3.8.....	33
Eşitlik 3.9.....	41
Eşitlik 3.10.....	46
Eşitlik 3.11.....	46
Eşitlik 4.1.....	52

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 3.1. Yöntem akış diyagramı	14
Şekil 3.2. Seçilen iki test alanı için (TA_1 ve TA_10) koordinat eşleme sonuçları: (a, b) koordinat eşleme işleminden önceki durum, (c, d) koordinat eşleme işleminden sonraki durum.....	16
Şekil 3.3. TA_1 test alanına ait a) Gürültü içeren LiDAR nokta bulutu verisi, b) gürültü giderilmiş LiDAR nokta bulutu verisi	17
Şekil 3.4. TA_1 test alanı için zemin sınıfına ait nokta bulutu verisi	18
Şekil 3.5. TA_1 test alanı için zemin ve zemin üstü sınıflarına ait nokta bulutu verisi.....	18
Şekil 3.6. Aşamalı TIN yoğunlaştırma modeli [34]	19
Şekil 3.7. SAM ve SYM 'nin gösterimi [37]	21
Şekil 3.8. nSYM 'ne eşik değeri uygulanması [37]	21
Şekil 3.9. TA_10 test alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen a) SAM, b) arazinin gölgeli rölyef gösterimi	22
Şekil 3.10. TA_10 test alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen a) SYM, b) arazinin gölgeli rölyef gösterimi	23
Şekil 3.11. a) TA_10 test alanı için üretilen nSYM, b) eşiklenmiş nSYM	24
Şekil 3.12. a) TA_4 test alanı için üretilen nSYM, b) eşiklenmiş nSYM	24
Şekil 3.13. a, c) TA_4 ve TA_10 test alanları için oluşturulan VARI görüntüleri, b, d) Bitki örtüsü alanları maskeleri.....	26
Şekil 3.14. TA_8 test alanı için elde edilen eşiklenmiş nSYM'nin (a) morfolojik iyileştirme öncesi görünümü ve (b) morfolojik iyileştirme sonrası görünümü	27
Şekil 3.15. TA_10 test alanı için elde edilen eşiklenmiş nSYM'nin (a) morfolojik iyileştirme öncesi görünümü ve (b) morfolojik iyileştirme sonrası görünümü	28
Şekil 3.16. TA_1 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) DoG filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü	32
Şekil 3.17. TA_1 test alanı için a) DoG ile belirlenen kenar görüntüsü, b) bitki örtüsü maskesi, c) bitki örtüsü alanlarının kaldırılıp, yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüsü	33
Şekil 3.18. Doğrunun parametrik tanımlaması.....	34
Şekil 3.19. Hough parametre uzayı: Akümülatör dizileri (TA_1).....	34
Şekil 3.20. TA_10 test alanı için, Hough dönüşümü ile belirlenen çizgi segmentleri.....	36

Şekil 3.21. Gestalt algısal gruptama ilkeleri [51].....	37
Şekil 3.22. a) Bina alanlarına ait ikili görüntü, b) etiketleme işlemi sonrasında elde edilen görüntü.....	39
Şekil 3.23. Çizgi-çizgi kesişimi.....	40
Şekil 3.24. Geliştirilen bina sınırı çatımı algoritmasının şematik gösterimi	42
Şekil 3.25. a) Hough dönüşümü ile belirlenen çizgi segmentleri, b) bina alanları orta noktaları, c) en uzun kenarlar ((L_{E_1})), d) en uzun kenarlara dik en uzun kenarlar ((L_{E_2})), e) kenarların kesişim noktasının belirlenip gruplandırılması, f) çatılmış bina	43
Şekil 3.26. Algısal gruptama kuralları ile a) TA_5 test alanına ait çatılan bina sınırları, b) TA_2 test alanına ait çatılan bina sınırları	44
Şekil 3.27. Çatılan bina sınırlarından a) poligon oluşturma, b) başlangıç tohum alanları için tampon bölge oluşturma	45
Şekil 3.28. TA_1 test alanı için, tohum bölge büyütme algoritması ile elde edilen binalar	47
Şekil 4.1. Test alanlarının konumları	48
Şekil 4.2. Test alanlarına ait LiDAR nokta bulutu verisi ve KYM ortofoto görüntüsü	50
Şekil 4.3. (a – j) Algısal gruptama kuralları ile TA_1 – TA_10 test alanlarında belirlenen bina sınırları.....	55
Şekil 4.4. (a – j) Kombine algısal gruptama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemi ile test alanlarında (TA_1 – TA_10) tespit edilen binalar	58
Şekil 4.5. Test alanlarına ait renkli ortofoto ve DoG algoritması ile elde edilen kenar görüntüsü	61
Şekil 4.6. Test alanlarına ait yükseklik değeri ataması sonucu elde edilen kenar görüntüleri	62
Şekil 4.7. TA_1, TA_3, TA_4 ve TA_6' ya ait yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüleri.....	62
Şekil 4.8. Bitki yoğunluğunun düşük olduğu TA_10 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) kenar görüntüsü	64
Şekil 4.9. Yoğun ve yüksek (2.5 m'den fazla) bitki örtüsüne sahip TA_5 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) kenar görüntüsü.....	64
Şekil 4.10. Hough dönüşümü ile test alanlarında elde edilen çizgi segmentleri	66
Şekil 4.11. a) TA_4 test alanına ait ortofoto görüntüsü, b) morfolojik operatörler ile bulunan bina alanları, c) bina alanı merkez noktası, d) binadan taşan bina sınırı	68

Şekil 4.12. a) TA_4 test alanına ait ortofoto görüntüsü, b) DoG filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü, c) bina kenarı piksellerinin boşluklu olmasından dolayı Hough dönüşümü ile elde edilen kısa çizgi segmenti (sarı elips ile gösterilen), d) yanlış çatılan bina sınırı	69
Şekil 4.13. a) Eğimli bina çatılarında çekim anında oluşan yansıma, b) DoG kenar görüntüsüne yükseklik atanması sonucu elde edilen sonuç kenar görüntüsü, c) Hough dönüşümü ile çıkarılamayan çizgi segmenti.....	70
Şekil 4.14. a) Farklı yükseklik ve özelliklere sahip bitişik nizamlı binalar ve belirlenemeyen bina sınırı, b) bitişik nizamlı binalardan birinde üzerine çıkılan ek kat ve belirlenemeyen bina sınırı, c, d) Ağacın bina üzerine sarkması e) bina üzerindeki ek kat.....	72
Şekil 4.15. Kombine yöntem ile belirlenen binalar: a) TA_3 test alanında belirlenen binalar, b) TA_5 test alanında belirlenen binalar	72
Şekil 4.16. a) TA_2 test alanında belirlenen binalar, b) TA_4 test alanında belirlenen binalar, c) TA_7 test alanında belirlenen binalar, d) TA_8 test alanında belirlenen binalar	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ	Varyans
θ	Çizgi Normalinin Orijinle Yaptığı Aç
r	Çizginin Orijinden Olan Normalinin Uzunluğu
x_m, y_m	Bina Merkez Nokta Koordinatları
r	Merkez Noktadan Çizgilere Olan Mesafe
L_{E_1}	En Uzun Kenar
L_{E_2}	En Uzun Kenara Dik En Uzun Kenar
x_{INT}, y_{INT}	Kesişim Noktası Koordinatları
d	Kesişim Noktası ve Merkez Nokta Arasındaki Mesafe
x_{NP}, y_{NP}	Yeni Köşe Noktası Koordinatları
l	Çizgi Segmentlerinin Uzunlukları
α	Çizgi Segmentleri Arasındaki Aç
k	Bina Sınırları İçinden Belirlenen Tampon Mesafesi
r_p	Konum Uzayında Aday Pikselin Konumu
f_p	Renk Uzayındaki Konum
r_s	Konum Uzayında Tohum Konumu
f_s	Renk Uzayında Tohum Konumu
β	Benzerlik Kriteri İçin Kullanılan Eşik Değeri
m	Metre
cm	Santimetre

Kısaltmalar

2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
ALS	Airborne Laser Scanner
BCR	Building Coverage Ratio
BDCCom	Bina Belirleme Bütünlüğü

BDCor	Bina Belirleme Doğruluğu
CCA	Connected Component Analysis
DoG	Difference of Gaussian
FAR	Floor Area Ratio
FN	False Negative (Yanlış Negatif)
FP	False Positive (Yanlış Pozitif)
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
HSV	Ton, Doygunluk, Parlaklık (Hue, Saturation, Value)
InSAR	Radar Interferometri
KYM	Kırmızı, Yeşil ve Mavi
LiDAR	Light Detection and Ranging (Lazer Tarama ve Ölçüm)
LoG	Laplacian of Gaussian
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nSYM	Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli
QPct	Quality Percentage (Kalite Yüzdesi)
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SVM	Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)
SYM	Sayısal Yüzey Modeli
TA_1	Test Alanı 1
TKGM	Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
TP	True Positive (Doğru Pozitif)
UTM	Universal Transverse Mercator (Merkator Projeksiyonu)
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index
WGS84	World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)
YIQ	Yoğunluk, Ton Ve Doygunluk (Intensity, Hue, Saturation)
YE	Yapılanma Elemanı
Y_{ED}	Yükseklik Eşik Değeri
YKÖ	Yakın Kızıl Ötesi

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama verilerinden nesne belirleme çalışmaları son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Nesne belirleme çalışmaları, kentsel değişim ve gelişimin görüntülenmesinde, şehir planlama, kartografik harita üretimi, taşınmaz değerlemesi ve afet yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kentsel alanlarda nesne belirleme çalışmalarında binalar en önemli nesneler olarak ön plana çıkmaktadır [1]. Güncel bina verisinin hızlı ve doğru bir şekilde otomatik olarak elde edilmesi şehir modellerinin oluşturulmasında da önem arz etmektedir [2].

Otomatik bina çıkarımı işlemi için bina nesnesinin işlenmesinde bazı hiyerarşik işlem adımları kullanılır. Bu işlem adımları; (i) bina yakalama, (ii) bina çıkarımı ve (iii) modellemedir [3]. Bina yakalama işleminde ayırt edilebilen geometrik ve kromatik özelliklerden yararlanarak binalar belirlenir. Bina çıkarımı işlemi bina sınırlarının tespit edilmesini kapsamaktadır. Bina sınırlarının çıkarılması işleminden sonra bina modelleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bina sınırlarının 2B veya 3B olarak çıkarılması işleminin ardından genelleştirilen çatı şekillerinden en uygun olan geometrik şekil seçilerek bina modelleme işlemi tamamlanmaktadır [4].

Otomatik bina çıkarımı ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde uydu görüntülerinden %100 başarıda otomatik bina çıkarımının hala mümkün olmadığı görülmektedir. Arazi karmaşıklığı, eksik nesne çıkarımı ve tek bir algılayıcıya bağlı olma bu duruma neden olan etkenlerdendir [2], [5], [6]. Görüntülerdeki çoğu alan, bina ve bina olmayan nesnelere ait geometrik veya kromatik ortak benzerlik gösteren daha ayrıntılı zengin bilgi içerir. Bu durum bina çıkarımı işlemini zorlaştırır. Oklüzyon, gölge oluşumu, zayıf kontrast, elverişsiz görüntü perspektifi gibi nedenlerden dolayı, nesnelerin çıkarımında önemli kayıplar olur. Ayrıca, bina çıkarımını destekleyen girdi verileri farklı çözünürlüklere sahip çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Her kaynak kendine özgü avantaj ve dezavantajlara sahiptir [2]. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, bina belirleme teknikleri üç gruba ayrılır [7]. İlk grup çalışmaları sadece optik sensör verilerini kullanmaktadır. Son yıllarda optik sensör teknolojilerindeki gelişmeler ile çok yüksek konumsal ve spektral çözünürlüğe sahip dijital görüntüler elde edilebilmektedir. Bu görüntüler doku ve renk bilgisi gibi kapsamlı 2B (2 boyutlu) bilgi sağlar. Fakat, görüntü çözünürlüğünün artması ile diğer nesnelerden binaları ayırma zorluğu da artar. Çünkü yüksek çözünürlüklü görüntüler oklüzyon ve gölge gibi detaylı bilgi içerir [6]. Görüntülerde farklı koşullar altında, farklı nesneler benzer spektral imzaya sahip olabilir

ve aynı tip nesnelerde farklı spektral imzaya sahip olabilir. Ayrıca, optik görüntülerden 3B bilgi elde edilmesi daha komplike bir işlemdir [1]. Dolayısıyla, sadece optik sensör verileri ile elde edilen bina belirleme çalışmaları istenilen düzeyde başarıya ulaşamamıştır. İkinci grup çalışmaları, sadece LiDAR (Light Detection and Ranging) tekniği ile üretilen nokta bulutu verilerini kullanmaktadır. Klasik yöntemlere göre LiDAR teknolojisi sağladığı hız, yüksek doğruluk, yoğunluk ve maliyet gibi avantajlardan dolayı bina ve diğer nesnelerin çıkarımında tercih edilmektedir. LiDAR, lazer sinyallerini göndererek ve alarak yüksek doğrulukta 3B bilgi sağlar. Yükseklik bilgisine dayanarak noktalar zemin ve zemin üstü olarak sınıflandırılabilir. LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda amaç, optik sensörlerden elde edilen bina belirleme eksikliklerini gidermektir. Fakat, LiDAR verilerinden çıkarılan binaların yatay doğruluğu zayıftır. Sadece LiDAR verisi kullanarak detaylı ve geometrik şekilde hassas sınır elde etmek zordur [2]. Bina nesnelerinin belirlenmesi sürecinde her iki grupta kullanılan verilerin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları olduğu için, bu iki gruptaki veriler birleştirilerek üçüncü grup çalışmaları oluşturulmuştur. Bu iki veri setinin entegrasyonu, optik ve LiDAR algılayıcıların kısıtlarını gidermektedir. Çünkü bu iki algılayıcı birbirlerini tamamlayıcı niteliklere sahiptir. Bina çıkarımı doğruluğunu arttırmak için LiDAR verilerindeki yoğunluk ve yükseklik bilgisi, optik sensörlerden elde edilen görüntülerdeki doku ve bölge sınır bilgileri ile birlikte kullanılmaktadır [2].

Dolayısıyla, bu tez çalışmasında, LiDAR nokta bulutu verisi ve yüksek çözünürlüklü renkli (K, Y, M) ortofoto görüntüsünün entegrasyonu ortamında iki verinin kullanımından faydalanılmıştır. Optik görüntülerin spektral ve konumsal özellikleri ile LiDAR nokta bulutu verisinin yükseklik, nokta sıklığı ve yoğunluk gibi özellikleri kullanılmıştır. Yalnız LiDAR nokta bulutu verisi veya yüksek çözünürlüklü ortofoto verisinin kullanılmasıyla elde edilecek sonuçlardan daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik bina sınırları çıkarımı ve geriçatımı için yeni bir kombine Hough dönüşümü, algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi geliştirmektir. Yöntem, kenar tabanlı Hough dönüşümü ve algısal gruplama ile alan tabanlı tohum bölge büyütme segmentasyonunu entegre etmektedir. Yöntemin başarısı, Bergama'dan seçilen farklı özelliklere sahip test alanları üzerinde ölçülmüştür. Çalışmanın diğer amaçları; (i) geliştirilen kombine yöntemin sonuçlarını kenar tabanlı Hough dönüşümü ve algısal

gruplama yöntemi sonuçları ile karşılaştırmak ve yöntemin başarısını göstermek; (ii) elde edilen sonuçların doğruluk analizlerini piksel tabanlı ve alan tabanlı yöntemlerle yapmak ve sonuçları karşılaştırmak ve (iii) yüksek çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinin kombine analizleriyle bina sınırları çıkarımı ve geriçatımı başarı oranını yükseltmektir.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. bölümü giriş kısmı olup, LiDAR verisi ve ortofoto verisinin birlikte kullanımının avantajlarını, her iki veri setinin ayrı ayrı kullanılmasının dezavantajlarını, tez çalışmasının amaçlarını ve kullanılan yazılımlar hakkında bilgileri içermektedir. Tezin 2. bölümünde, yalnız LiDAR verisi, yalnız ortofoto görüntüleri ve her iki veriseti kullanılarak yapılmış olan ilgili geçmiş çalışmalar açıklanmıştır. Tezin 3. bölümünde bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemler açıklanmıştır. Tezin 4. bölümünde çalışma alanları ve kullanılan veriler, geliştirilen yöntemlerin farklı alanlarda testleri ve bulgular anlatılmıştır. Tezin 5. bölümünde gerçekleştirilen bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir.

1.3. Kullanılan Yazılımlar

Çalışmada *ArcGIS*, *Lastools*, *SAGA* ve *Matlab* yazılımları kullanılmıştır. LiDAR nokta bulutu verisi ile ortofoto görüntüsü arasında koordinat eşleme işlemi için *ArcGIS* yazılımı kullanılmıştır. Gürültü giderme, zemin ve zemin üstü sınıfların ayrımı, SAM/SYM üretimi işlemleri *Lastools* yazılımı ile yapılmıştır. nSYM üretimi, üretilen nSYM'ye eşik değer uygulanması, bitki örtüsü alanlarının belirlenmesi, morfolojik operatör işlemleri, ortofoto görüntülerinden kenar belirleme ve Hough dönüşümü ile bina sınırlarının belirlenmesi işlemleri *Matlab* yazılımı ortamında geliştirilen program ile gerçekleştirilmiştir. Tohum bölge büyütme algoritması için *SAGA* yazılımı kullanılmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçların nesne tabanlı ve piksel tabanlı doğruluk analizleri *Matlab* yazılımı ortamında yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılmış olan geçmiş çalışmalar incelendiğinde, bina çıkarımı yöntemleri üç grupta kategorize edilmiştir [7]. Bu yöntemler; sadece yüksek çözünürlüklü görüntü verisi, sadece LiDAR nokta bulutu verisi ve hem yüksek çözünürlüklü görüntü verisi hem de LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu bölümde yapılan geçmiş çalışmalar, kullanılan veri özelliğine göre incelenmiştir. Yapılan bu tez çalışması her iki verinin de kullanımını içermektedir ve dolayısıyla, her iki veri seti kullanılarak yapılan çalışmaların değerlendirilmesine daha fazla ağırlık verilmiştir.

2.1.Yüksek çözünürlüklü görüntü kullanılarak yapılan çalışmalar

[8] tarafından (2008) yapılan çalışmada, dikdörtgen yapı binaların belirlenmesi için, Hough dönüşümü ve mean shift algoritması olmak üzere iki farklı yöntem önerilmiştir. Çalışmada IKONOS uydu görüntüleri ve Google Earth yazılımından elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Görüntülerde ilk olarak gölge bölümlenmesi yapılmıştır. Gölge bölümlenmesi yapılan görüntüler iki algoritma için girdi verisi olarak kullanılmıştır. Hough dönüşümüne dayalı bina belirleme algoritmasında girdi görüntüsü gürültü kaldırma ve kenar keskinleştirme için filtrelenmiştir. Görüntüden kenar çıkarımı için Canny kenar bulma algoritması kullanılmıştır. Sonra, Hough dönüşümü ile doğru parçaları çıkarılmış ve dikdörtgen yapı binaları oluşturmak için kullanılmıştır. Mean shift algoritmasına dayalı bina belirleme yönteminde ise görüntü bu yöntem ile bölütlere ayrılmıştır. Elde edilen doğruluk oranları Hough dönüşümüne dayalı bina belirleme yöntemi için %57, mean shift algoritmasına dayalı bina belirleme yöntemi için ise %78 olarak hesaplanmıştır.

[9] tarafından (2008) yapılan çalışmada, bina belirleme işlemi için önce hipotez geliştirme, sonra bu hipotezi doğrulama işlemi yapılmıştır. Hipotez geliştirme işlemi, kenar bulma ve doğru oluşturma aşamalarından oluşmaktadır. Hipotez doğrulama işlemi ise, görüntünün HSV (Ton, doygunluk, parlaklık- Hue,Saturation,Value) renk uzayına göre bölümlenmesi ve gölge bulma işleminden elde edilen bilgiler ile gerçekleştirilmiştir. Görüntüdeki kenarlar Canny kenar bulma algoritması kullanılarak çıkarılmış ve Hough dönüşümü kullanılarak doğru parçaları oluşturulmuştur. Sonra, bu doğru parçaları kullanılarak bina hipotezleri çıkartılmıştır. IKONOS uydu görüntüsü ve Google Earth yazılımından elde edilen görüntülerin kullanıldığı çalışmada bina belirleme ortalama doğruluk oranı %88 olarak hesaplanmıştır.

[10] tarafından (2011) yapılan çalışmada, IKONOS stereo uydu görüntüleri kullanılarak bina konumları ve yükseklikleri belirlenmiştir. Binalar, görüntü spektral özelliklerine ek olarak stereo görüntülerden elde edilen Sayısal Yüzey Modeli kullanılarak önerilen algoritma ile çıkarılmıştır. IKONOS stereo uydu görüntülerinin rektifikasyonu işlemi rasyonel fonksiyon model ile yapılmış ve sonra sayısal yüzey modeli ve orto görüntü oluşturulmuştur. IKONOS pankromatik ve multispektral orto görüntü kullanılarak 1 m çözünürlüğünde pan-keskinleştirilmiş orto görüntü elde edilmiştir. Binalar bu görüntüden, en büyük benzerlik sınıflandırma algoritması ile bulunmuştur. Bina yüksekliklerinin hesaplanmasında sayısal yüzey modeli ile sayısal arazi modeli kullanılmıştır. Test alanları için elde edilen ortalama bina belirleme doğruluğu %82'dir.

[11] tarafından (2015) yapılan çalışmada, dikdörtgen ve dairesel şekilli bina çıkarımı için Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines-SVM) sınıflandırması, Hough dönüşümü ve algısal gruptama (perceptual grouping) yöntemleri kullanılmıştır. Bina alanlarının bulunmasında Destek Vektör Makineleri sınıflandırması kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminde normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) ve normalize edilmiş bitki indeksi (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) ek bantlar olarak kullanılmıştır. Bina sınırlarının belirlenmesinde ise, Hough dönüşümü ve algısal gruptama işlemleri kullanılmıştır. Test alanları için ortalama bina belirleme yüzdesi ve kalite yüzdesi değerleri sırasıyla %93 ve %79 olarak hesaplanmıştır.

2.2. LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalar

[12] tarafından (2007) yapılan çalışmada, jeomorfometrik segmentasyon ilkelerine dayanarak LiDAR sayısal yükseklik modellerinden bina sınıfının çıkarılması için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde önce tohum hücreleri ve bölge büyütme kriterleri belirlenmiştir. Sonra, bölge büyütme segmentasyon için nesne ayırma çatısı tanımlanmıştır. Nesnelere boyut filtreleme uygulanıp, yükseklik ve eğim ile temsil edilen arka plan ve ön plan nesneleri bağlı bileşenler etiketlemesi tanımlanmıştır. Bu işlemlerin ardından K-Means sınıflandırılması uygulanmıştır. Küme merkezlerinin belirlenmesine yardımcı olan kümelerin mekansal dağılımının yorumlanması, bina sınıfının belirlenmesini sağlamıştır.

[13] tarafından (2010) yapılan çalışmada, LiDAR verisinden oluşturulan yüksek doğrulukta arazi yüzeyinden bina çıkarımı ve geriçatımı için bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yaklaşımda, arazi yüzey verileri girdi olarak kullanılmış ve bina kenarlarını çıkarmak için kenar belirleme, kenar sınıflandırması, bina noktaları çıkarımı, TIN modeli kullanılmıştır.

Binalar ve binalar ile ilişkili bilgileri yapılandırmak için geriçatım işlemi yapılmıştır. Bina belirleme işlemi için, yüzey verilerinden kenarlar belirlenmiş ve ortogonallık, paralellik, dairesellik ve simetri olmak üzere, geometri ve şekillerine göre diğer kenarlardan ayırmak için kenarlar sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan bina kenarları bina noktalarını çıkarmak için sınırlar olarak kullanılmış ve çıkarılan noktalar ile TIN modelleri oluşturulmuştur. Test sonuçları, yaklaşımın yüksek doğrulukta arazi yüzeyinden 3 boyutlu yapı modellerinin çıkarılması ve geriçatımı için uygunluğunu göstermektedir.

[14] tarafından (2016) yapılan çalışmada, hava LiDAR verilerinden bina sınır hatlarının otomatik çıkarımı için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma sınıflandırma, segmentasyon, sınır nokta belirleme ve sınır çıkarımı olmak üzere dört temel adımdan oluşmaktadır. İlk adımda nokta bulutu verisi, bina ve diğer nesneleri ayırmak için sınıflandırılmıştır. İkinci adımda, LiDAR verisi eş düzlemlili nokta kümelerine ayrılmıştır. Çalışmada split and merge (ayırma ve birleştirme) segmentasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonraki adımda, nokta bulutu verisinden bina sınır noktaları çıkarılmıştır. Son olarak, çıkarılan sınır noktalarından bina sınır çizgileri oluşturulmuştur. LiDAR verisinden kenar çıkarımı için hat uydurma (line fitting) algoritması geliştirilmiştir. Çalışma farklı özelliklere sahip binalardan oluşan sekiz test alanına uygulanmış ve oldukça tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır.

[15] tarafından (2017) yakın zamanda yapılan çalışmada, LiDAR nokta bulutunun 3B segmentasyonu için bina kümelerini bina olmayan kümelerden ayırmak için yeni bir histogram tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Yöntem iki farklı LiDAR veri setine uygulanmıştır. Yöntemin uygulama sonuçları incelendiğinde bina belirleme doğruluğu iki farklı test alanı için %100 ve %82 olarak hesaplanmıştır.

2.3.Yüksek çözünürlüklü görüntü ve LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalar

[16] tarafından (1999) yapılan çalışmada, çok bantlı görüntü verisi ve lazer altimetre verisi kullanılmıştır. Lazer verisinden SYM üretilip, üretilen SYM 'e morfolojik işlemler uygulanarak SAM elde edilmiştir. SYM 'den SAM 'in farkı alınarak nSYM oluşturulmuştur. Sonra, nSYM, ISODATA kontrolsüz sınıflandırmada ek band olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, lazer verilerinin entegrasyonu başarılı olduğu için, kentsel veri tabanlarının otomatik olarak oluşturulmasında kullanımı önerilmiştir.

[17] ve [18] (2005, 2007) yaptıkları çalışmalarda, hava LiDAR verileri ve çoklu spektral hava görüntüleri füzyonu ile Dempster-Shafer tekniğini kullanarak binaları belirlemek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Binalar, her bir pikselin renk, yükseklik varyans ve yüzey pürüzlülüğü gibi çeşitli özelliklerin olasılıksal olarak araştırılması sonucunda sınıflandırılarak belirlenmiştir. Bina morfolojik işlemleri kullanılarak yanlış sınıflandırılmış küçük alanlar kaldırılmıştır. Sonra, yanlış başlangıç bina bölgelerini ortadan kaldırmak için ikinci bir Dempster-Shafer füzyon işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen sınıflandırma yaklaşımının bina tespiti ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

[5] tarafından (2007) yapılan çalışmada, bina çıkarımı için pan-keskinleştirilmiş görüntü ve LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım bina belirleme ve bina tanımlama olmak üzere iki temel adımdan oluşmaktadır. Bina belirleme aşamasında, binalar bina olmayan kentsel nesneler kaldırılarak belirlenmiştir. Bina tanımlama aşamasında, belirlenen binalar üzerine yoğunlaştırılmıştır. İkili uzay bölümlene ağaç (Binary Space Partitioning tree) algoritmasına dayanarak, bina sınırlarının yeniden yapılandırılması için bina birim şekli (Building Unit Shape) metodu kullanılmıştır. Yapılan doğruluk analizlerinde bina belirleme doğruluk oranı %90 olarak hesaplanmıştır.

[6] tarafından (2008) yapılan çalışmada, 1.1 m nokta aralıklı LiDAR verisi ve 5 cm çözünürlüklü ortofoto görüntüsü kullanılarak bina sınırı çıkarımı için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Dört adımdan oluşan yaklaşımın ilk adımını LiDAR verisinin işlenmesi oluşturmaktadır ve bu adımda LiDAR verisi segmentlere ayrılmak suretiyle bina noktaları belirlenmiştir. İkinci adımda, bina sınır dörtgeni ve bina tampon bölgesi tarafından bina görüntüsü oluşturulmuştur. Sonra, bina sınırlarının çıkarılması için önerilen yeni bir algoritma kullanılmıştır. Son olarak, LiDAR nokta yoğunluğu analizi ve K-Means kümeleme yöntemine dayalı sınır segment seçimi yapılmıştır. Yapılan testler neticesinde, % 91 bina sınırı doğruluk oranına ulaşılmıştır.

[19] tarafından (2008) yapılan çalışmada, görüntü ve LiDAR verileri kullanılarak dört farklı yöntemle bina ve ağaç çıkarımı gerçekleştirilmiştir. İlk yöntem, NDVI analizi ile birlikte SYM/SAM karşılaştırılmasına dayanmaktadır. SYM ile SAM'ın farkı alınarak yer üzerindeki nesneleri tanımlayan nSYM elde edilmiştir. Görüntü verisinden kontrolsüz sınıflandırma ile NDVI görüntü oluşturulmuştur. NDVI görüntüsü ile nSYM görüntüsünde ortak alanlar ağaçlara karşılık gelir. nSYM' den sonuç ağaç görüntüsü çıkarılarak binalar elde edilmiştir. İkinci yöntemde, LiDAR verisinden gelen yükseklik bilgisi de kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca sınıflandırma işleminde belirlenen kanallardan

yeni bandlar oluşturulmuştur. Üçüncü yöntemde LiDAR nokta bulutu verisi ve görüntü verisi kullanılmıştır. LiDAR nokta bulutu verisinden zemin üzerindeki nesneler elde edilmiştir. Sonra, görüntü verisinden elde edilen NDVI görüntüsü kullanılarak ağaçlar elimine edilmiştir. Son yöntem, hem LiDAR SYM verisinin düşey yoğunluk analizine dayanarak gerçekleştirilmiştir. Referans veri ile karşılaştırıldığında elde edilen doğruluk oranları sırasıyla %76, %86, %87 ve %92 olarak hesaplanmıştır.

[7] tarafından (2008) yapılan çalışmada, LiDAR verisi ve fotogrametrik görüntü ile yönlü histogramlar, segmentleri ayırma-birleştirme ve çizgi segmentlerini eşleştirme ile üç adımdan oluşan yeni bir bina belirleme algoritması önerilmiştir. Algoritmanın ilk adımında, LiDAR verisinden başlangıç bina bölgeleri çıkarılır. Bu işlem için, yönlü histogramlar ve bu histogramların entropileri ile birlikte yerel maksima tekniği uygulanır. İkinci adımda, fotogrametrik görüntüden elde edilen renk segmentasyonu ve LiDAR sonuçları birleştirilerek kaba bina sınırları çıkarılır. Son adımda ise, çizgi segmentleri eşleştirme ve algısal gruptama kullanılarak kaba bina sınırlarına dayanan kesin bina sınırları çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiklerinde iki farklı test alanı için %95.05 ve %90.74 doğruluk oranları hesaplanmıştır.

[20] tarafından (2009) yapılan çalışmada, yükseklik ve spektral verilerden binaları çıkarmak için matematiksel morfolojiye dayanan çok ölçekli bir çözüm sunulmuştur. Yükseklik verileri, yapısal bilgileri tasvir etmek için birincil veri olarak kullanılmış ve morfolojik bir ölçek alanı üzerinde temsil edilmiştir. Karmaşık bir yapı, her parçanın büyüklüğüne bağlı olarak bir ölçekte temsil edildiği çok parçalı bir nesne olarak çıkarılmıştır. Bina ayak izi (building footprint) en büyük parçanın sınırını ifade eder. Diğer nesne özellikleri alan, yükseklik ve kat adedi sayılarını içerir. Spektral veriler bitki örtüsünü kaldırmak ve bina çatı malzemesini sınıflandırmak için ek veri olarak kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, iki farklı test alanı için nesne tabanlı doğruluklar %82.98, %67.39 ve piksel tabanlı doğruluklar %96.65, %91.94 olarak elde edilmiştir. Daha yüksek yoğunluklu LiDAR verisi kullanılması halinde daha yüksek doğruluk elde edilmesinin beklendiği ve bina çatılarının daha iyi sınıflandırılması için daha fazla spektral veriye ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

[21] tarafından (2010) yapılan çalışmada, lazer verisi ve hava görüntüsü kullanılarak otomatik bina belirleme işlemi için farklı yöntemler karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Hem piksel tabanlı hem de nesne tabanlı olarak iki farklı test alanında beş adet yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler Bayesian maksimum olasılık, Bayesian minimum mesafe,

Dempster-Shafer, AdaBoost ve eşiklenmiş nSYM'dir. Yöntemlerin değerlendirilmesinde, referans harita üzerinden manuel olarak çizilen veriler kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde Dempster-Shafer ve AdaBoost yöntemlerinin piksel tabanlı analizlerinde doğruluk oranları sırasıyla %96.08 ve %95.29, nesne tabanlı analizlerde ise %96.78 ve %95.82 olarak hesaplanmıştır. Bu iki yöntem ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Eşiklenmiş nSYM yöntemi daha az bitki örtüsüne sahip test alanında, Bayesian yöntemleri ise binaların yüksekliklerinin birbirine yakın olduğu test alanlarında daha güvenilir sonuçlar vermiştir.

[2] tarafından (2010) yapılan çalışmada, 0.5 m nokta aralıklı LiDAR nokta bulutu verisi, 0.15 m çözünürlüklü renkli KYM orto görüntü ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılmıştır. LiDAR verisinden birincil bina maskesi (primary building mask) ve ikincil bina maskesi (secondary building mask) elde edilmiştir. Birincil bina maskesinden Canny kenar belirleme algoritması ile çizgi segmentleri çıkarılmış ve görüntüden oluşturulan normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI) kullanılarak ağaçlara ait çizgi segmentleri kaldırılmıştır. Kalan çizgi segmentleri başlangıç bina konumlarını oluşturmaktadır. Sonuç binalar YIQ-yoğunluk, renk tonu ve doygunluk (intensity, hue, saturation) renk sisteminde orto görüntü ve iki maske kullanılarak başlangıç bina konumlarından elde edilmiştir. Çıkarılan binaların doğruluk analizleri nesne tabanlı, piksel tabanlı ve geometrik olarak üç kategoride yapılmıştır. Nesne tabanlı bütünlük (completeness) doğruluk oranı %97, piksel tabanlı bütünlük (completeness) doğruluk oranı % 78 ve geometrik doğruluk 13 piksel olarak hesaplanmıştır.

[22] tarafından (2011) yapılan çalışmada, otomatik bina belirleme için, yüksek konumsal çözünürlüklü görüntü ve LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak, eşik tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Eşik tabanlı yaklaşımda iki eşik değeri kullanılmıştır. Bu eşik değerler, LiDAR verisinde bina olarak kabul edilecek minimum yükseklik değeri ve spektral tepkiye göre tanımlanan bitki örtüsünün minimum NDVI değeridir. Nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımında ise, karar ağaçları kullanılarak önce segmentasyon işlemi yapılmış, sonra özellik seçimi ve çıkarımı yapılarak sınıflandırma işlemine geçilmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluk analizleri alan tabanlı ve nesne tabanlı yapılmıştır. Alan tabanlı analizlerde bina belirleme performansı, nesne tabanlı analizlerde ise binaların konumsal doğrulukları hesaplanmıştır. Farklı özellikteki test alanlarında yapılan uygulamalar neticesinde alan tabanlı en yüksek doğruluk, eşik tabanlı yaklaşım için %92 ve nesne tabanlı yaklaşım için %89.6 olarak hesaplanmıştır.

[23] tarafından (2012) yapılan çalışmada, LiDAR verileri, 0.6 m çözünürlüklü hava fotoğrafları ve yol haritaları kullanılarak binaların belirlenmesine yönelik nesne tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. LiDAR verilerinden zemin yüzeyini oluşturmak için çok yönlü yer filtresi uygulanmıştır. Sonra, LiDAR verisi ve hava fotoğraflarından binaları tanımlamak için morfoloji tabanlı bina belirleme algoritması kullanılmıştır. Son olarak, kontrollü karar ağacı sınıflandırması ile binalar elde edilmiştir. Yapılan sınıflandırma sonucunda binaların sınıflandırma doğruluğu %81.1 olarak hesaplanmıştır.

[24] tarafından (2012) yapılan çalışmada, bina alanlarını ve bitki örtüsünü elde etmek için 4 nokta/m² yoğunlukta Airborne Laser Scanner (ALS) verisi ve multispektral görüntü kullanılmıştır. Bina çıkarımı için 25 cm grid aralığı ile SAM ve SYM üretilmiştir. Başlangıç bina alanları nSYM' den oluşturulup, çok bantlı görüntü kullanılarak bina alanlarından bitkiler elimine edilmiştir. Sonuç bina alanları morfolojik işlemler kullanılarak elde edilmiş ve Hough dönüşümü ile vektör forma dönüştürülmüştür. Bitki örtüsü alanlarını elde etmek için görüntü üzerinde tekrarlamalı obje tabanlı sınıflandırma yapılmıştır. Spektral bantlara ilaveten nSYM verisi ek bant olarak kullanılmıştır. Görüntünün segmentasyon işleminden sonra konumsal, spektral, geometrik ve doku gibi öznelik bilgilere dayanarak kural tabanlı sınıflandırma yapılmıştır. İlk iterasyon görünür kentsel nesnelere (gölgesiz alanlar), ikinci iterasyon ise gölgedeki nesnelere uygulanmıştır. Daha sonra, her iki iterasyondan gelen sonuçlar birleştirilmiştir. Ortalama bütünlük doğruluk oranı %90 olarak bulunmuştur.

[25] tarafından (2015) yapılan çalışmada, 29 nokta/m² yoğunlukta LiDAR verisi ve çok bantlı görüntü kullanılarak grafik tabanlı bir algoritma önerilmiştir. LiDAR verisi zemin ve zemin üstü noktaları olarak ayrılmış, zemin üstü noktalardan birincil bina maskesi oluşturulmuştur. Sonra, test alanındaki nesnelerin sayısını belirleyen bağlı bileşen analizi (Connected Component Analysis (CCA)) uygulanıp, ilk sınır tespiti ve etiketlemesi yapılmıştır. Bağlı bileşenlerden bir grafik oluşturulmuştur. Çok bantlı görüntü, çizgi segmentlerin çıkarılmasında, NDVI katmanı ve görüntü entropisi oluşturmada kullanılmıştır. Önerilen teknik binaları %91 doğruluk oranı ile belirlemiştir.

[26] tarafından (2016) yapılan çalışmada, renkli ortofoto ve LiDAR verisinden otomatik bina çıkarımı ve bina sınıflandırmasında, bina kapsama oranı (Building Coverage Ratio (BCR)) ve taban alanı oranı (Floor Area Ratio (FAR)) indikatörleri kullanılmıştır. BCR, bina kapsama alanının arazi büyüklüğüne oranıdır ve bina yoğunluğunu 2B (iki boyutlu) alanda ölçer. FAR, kaba bina taban alanının arazi büyüklüğüne oranıdır. FAR'ın değeri sadece bina ayak izi alanıyla değil, aynı zamanda farklı yükseklikteki katların dikey dağılımı ile de

belirlendiğinden, 3B (üç boyutlu) bina yoğunluğunu ifade eder. Ön veri işleme aşamasında, düşük çözünürlüklü yükseklik verileri ortalama kaydırma (mean-shift) tabanlı algoritma ile yüksek çözünürlüklü optik veriler ile birleştirilmiştir. SYM ve SAM kullanılarak nSYM görüntüsü elde edilmiştir. Daha sonra, bina ve bina olmayan nesneleri ayırmak için, tüm piksellerin sınıflandırılmasında çok katmanlı ileri besleme sinir ağı (multilayer feedforward neural network) yöntemi kullanılmıştır. BCR ve FAR indislerinden elde edilen bilgiler, bina yoğunluğuna dayanan otomatik sınıflandırma sonrası işlemlerde kullanılmıştır.

[27] tarafından (2016) yakın zamanda yapılan çalışmada, yeni bir gradyan tabanlı bina çıkarımı yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem mevcut otomatik bina çıkarımı yöntemlerindeki küçük boyutlu ve şeffaf çatılara sahip binaların çıkarılmasındaki zorlukları ve problemleri gidermiştir. Yöntemde ilk olarak LiDAR yükseklik verisi yoğunluk görüntüsüne dönüştürülmüş ve görüntüdeki gradyan bilgisi analiz edilmiştir. Bina çatı düzlemleri çatı düzleminin eğimi boyunca sabit bir yükseklik değişikliğine sahipken, ağaçlar rastgele bir yükseklik değişikliğine sahiptir. Ağaçları ortadan kaldırmak için, gradyan bilgisi analizi işleminden sonra yerel renk eşleştirme yaklaşımı kullanılmıştır. Yerel renk eşleştirme analizi işleminin yanı sıra varyans, nokta yoğunluğu ve gölge eliminasyonu işlemleri de yapılmıştır. Önerilen gradyan tabanlı yöntemin performansı nesne tabanlı ve piksel tabanlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her büyüklükte ve şeffaf çatılara sahip binaların başarılı bir şekilde çıkarıldığını göstermiştir.

Bu tez çalışmasında geçmiş çalışmalardan farklı olarak, yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik bina sınırları çıkarımı ve geriçatımı için yeni bir kombine Hough dönüşümü, algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, kenar tabanlı Hough dönüşümü ve algısal gruplama algoritmaları ile alan tabanlı tohum bölge büyütme algoritmasını entegre etmektedir. Yöntemin başarısı, Bergama'dan seçilen farklı özelliklere sahip test alanları üzerinde piksel tabanlı ve alan tabanlı doğruluk analizleriyle gösterilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasında geliştirilen yöntem anlatılmaktadır. Şekil 3.1’ de gösterilen akış diyagramı, geliştirilen yöntemin ana adımlarını göstermektedir. Bu adımlar şu şekildedir:

- 1) Ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden bina alanlarının belirlenmesi,
- 2) Ortofoto üzerinden Difference of Gaussian (DoG) filtresi ile kenar belirleme,
- 3) Kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile çizgi segmentlerin çıkarılması,
- 4) Geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bina sınırlarının çıkarılması ve çatımı,
- 5) Bina sınırları içinde tampon bölge oluşturulması,
- 6) Tohum Bölge Büyütme algoritması (Seeded Region Growing) ile binaların belirlenmesi ve
- 7) Doğruluk analizleri.

Çalışmada girdi verisi olarak kullanılan ortofoto görüntüsünün ve LiDAR nokta bulutu verisinin çekim zamanlarının farklı olmasından dolayı aralarında kayıklık mevcuttur ve bu nedenle, ilk olarak bu veri setleri arasında koordinat eşleme (registration) işlemi yapılmıştır.

LiDAR verisi ile yapılan işlemlerde, LiDAR nokta bulutu verisindeki gürültü giderilmiştir. Gürültünün giderilmesinden sonra Aşamalı TIN Yoğunlaştırma (Progressive TIN Densification) yöntemi ile nokta bulutu verisi uygun parametreler kullanılarak filtrelenmiş, zemin (ground) ve zemin üstü (above ground) verisi olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma işleminden sonra, zemin sınıfı verisi kullanılarak Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve ilk geri dönen sinyaller (first return) kullanılarak Sayısal Yüzey Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Daha sonra, SYM ’den SAM çıkarılarak normalize edilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nSYM) oluşturulmuştur. Görüntüde sadece bitki ve bina nesnelerinin kalması amacıyla, nSYM verisine 2.5 m eşik değeri uygulanmış ve nSYM verisi, bu eşik değerine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Bu eşik değerinin altındaki nesneler çıkarılıp, eşiklenmiş nSYM elde edilmiştir. Bundan sonra, ortofoto verisinden Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) bitki indeksi kullanılarak bitki örtüsü alanları elde edilmiştir. Eşiklenmiş nSYM görüntüsünden bitki örtüsü alanları da elimine edildikten sonra sonuç görüntü verisi üzerinde morfolojik iyileştirme yapılarak bina alanları bulunmuştur.

Bina alanlarının belirlenmesi işlemlerinden sonra, *Matlab* yazılımında DoG (Difference of Gaussian) filtresi ile ortofoto görüntüsünden kenarlar belirlenmiştir.

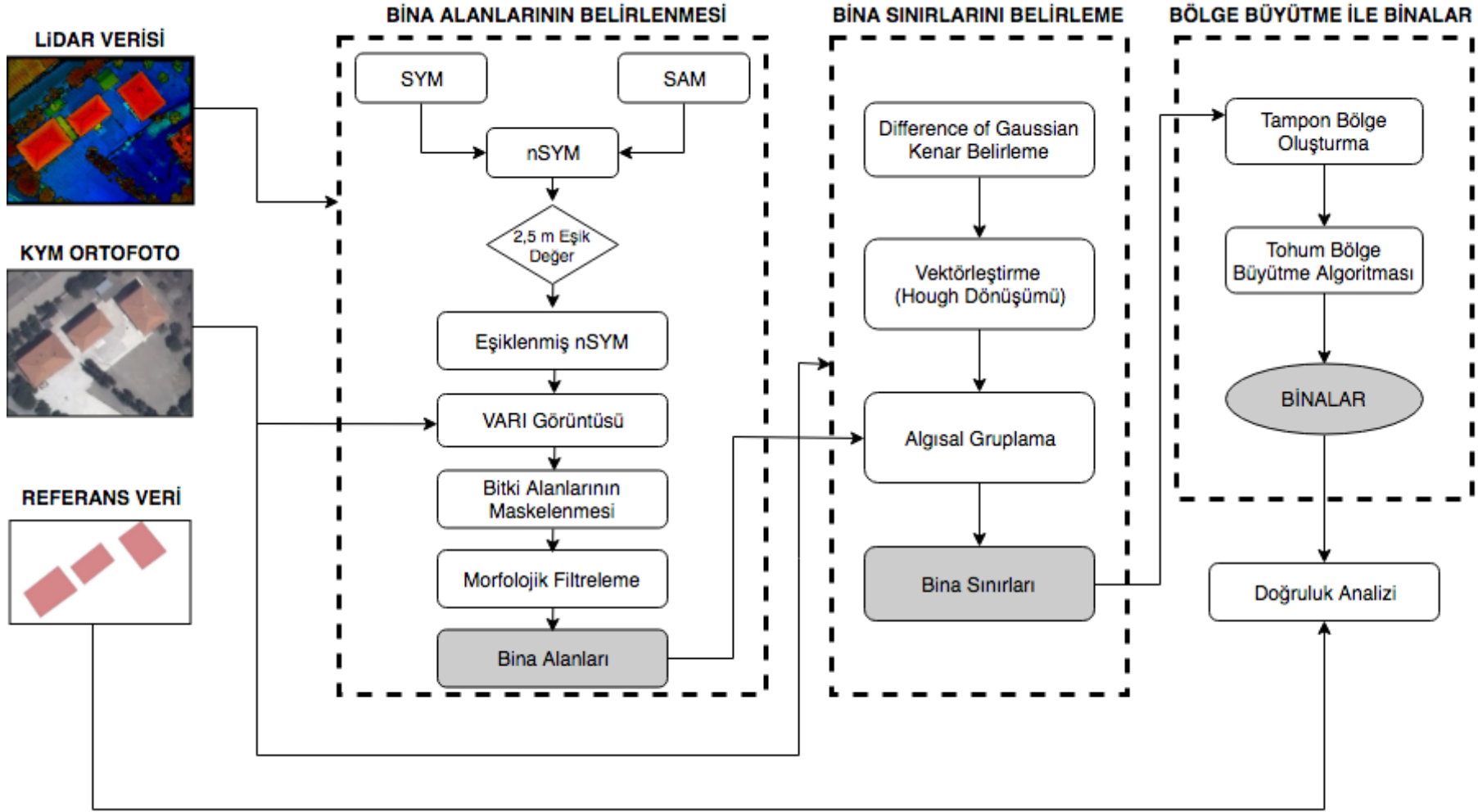
Elde edilen kenar görüntüsünden, bina sınırlarını vektör çizgiler olarak çıkarmak için, yaygın kullanılan bir yöntem olan Hough dönüşümü kullanılmıştır.

Hough dönüşümü ile kenar görüntüsünün çizgi segmentlerine dönüştürülmesinden sonra, geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bu çizgi segmentlerinden bina sınırlarının çatımı işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çatılan bina sınırları içinde tampon bölgeler oluşturulmuştur.

Elde edilen bu tampon bölgeler, bir sonraki adımda gerçekleştirilen Tohum Bölge Büyütme (Seeded Region Growing) segmentasyonu için başlangıç tohum alanları olarak kullanılmış ve segmentasyon işlemi neticesinde binalar belirlenmiştir. Segmentasyon işlemi için ücretsiz açık kaynaklı SAGA yazılımı kullanılmıştır.

Son olarak, ortofoto görüntüsünden elle oluşturulan referans veriler kullanılarak, geliştirilen yöntem ile belirlenen binaları karşılaştırmak suretiyle *Matlab* yazılımında doğruluk analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Yöntem akış diyagramı

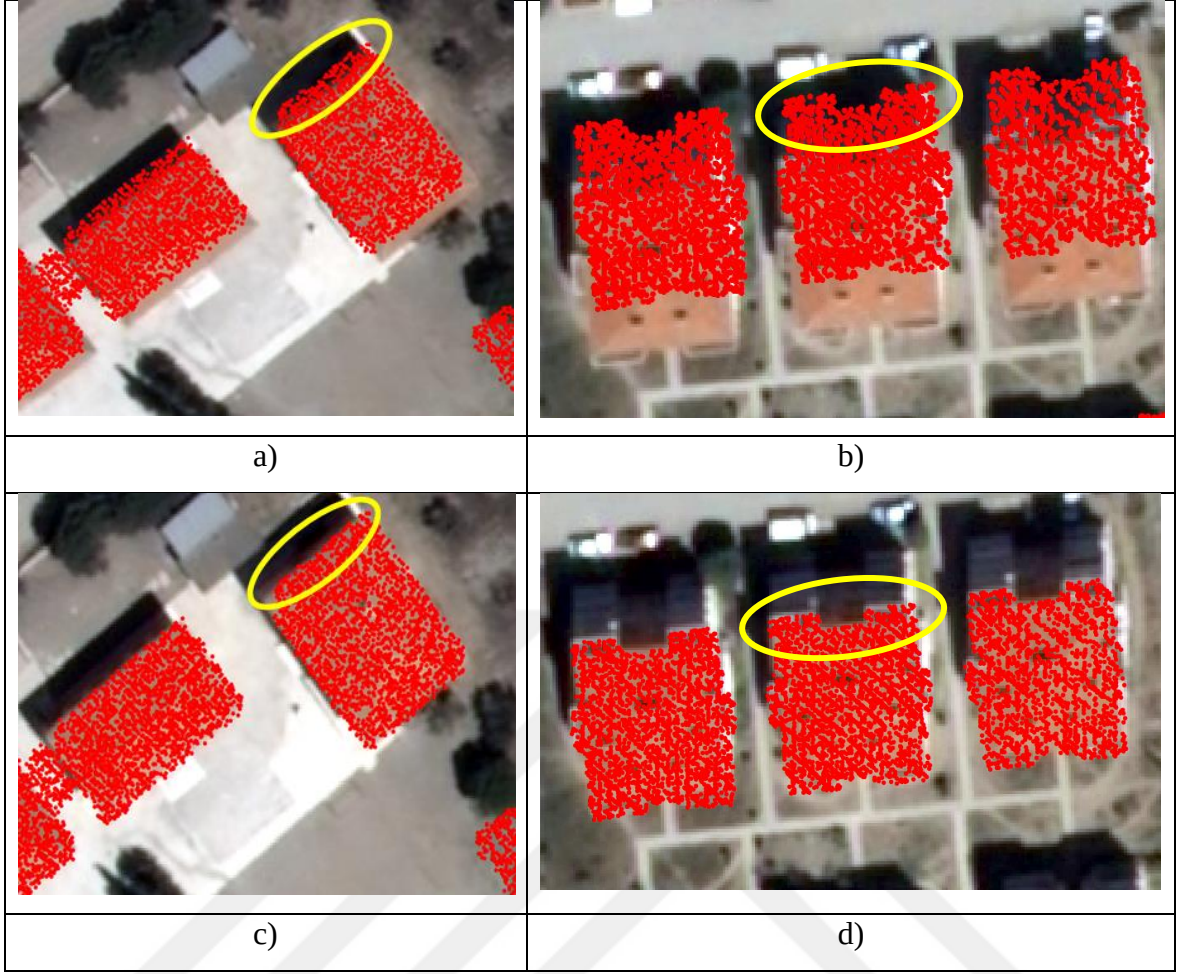
3.1. Bina alanlarının bulunması

Bina alanlarının elde edilmesi için ortofoto görüntüsü ve LiDAR nokta bulutu verisi ile yapılan işlemler altı temel adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar:

- Ortofoto görüntüsü ile LiDAR nokta bulutu verisinin jeoreferanslaması,
- LiDAR verisinden gürültünün giderilmesi,
- LiDAR verisinden zemin ve zemin üstü sınıfların ayrımı,
- SYM, SAM ve nSYM üretimi,
- Bitki örtüsü alanlarının belirlenmesi ve
- Bina alanlarının bulunması.

3.1.1. Ortofoto görüntüsünün LiDAR nokta bulutu verisine referanslandırılması

Bütünleşik analiz yapabilmek için farklı platformlardan ve farklı zamanlarda elde edilen ortofoto görüntüsü ile LiDAR nokta bulutu verisinin aynı koordinat sisteminde tanımlanması gerekir. Bunun için, LiDAR nokta bulutu verisindeki bina köşelerinden kontrol noktaları seçilerek, ortofoto görüntüsü LiDAR nokta bulutuna referanslandırılmıştır [28]. Bu işlem için, yeterli sayıda kontrol noktası ile polinom dönüşüm modeli kullanılmıştır. “ArcGIS” yazılımında sıfır derece polinom model (zero-order shift) ile yapılan koordinat eşleme (registration) işleminde her iki veri seti arasındaki kayıklık giderilmiştir (Şekil 3.2). Ortofoto görüntüsü ile LiDAR nokta bulutu verisi arasında koordinat eşleme işlemi yapılmadan önceki kayıklık durumu, çalışma sahasından seçilen iki test alanı için (TA_1 ve TA_10) Şekil 3.2a ve 3.2b ’de gösterilmektedir. Şekil 3.2c ve 3.2d ’de iki veri seti arasındaki koordinat eşleme işlemi sonrasındaki çakışma durumu gösterilmektedir.

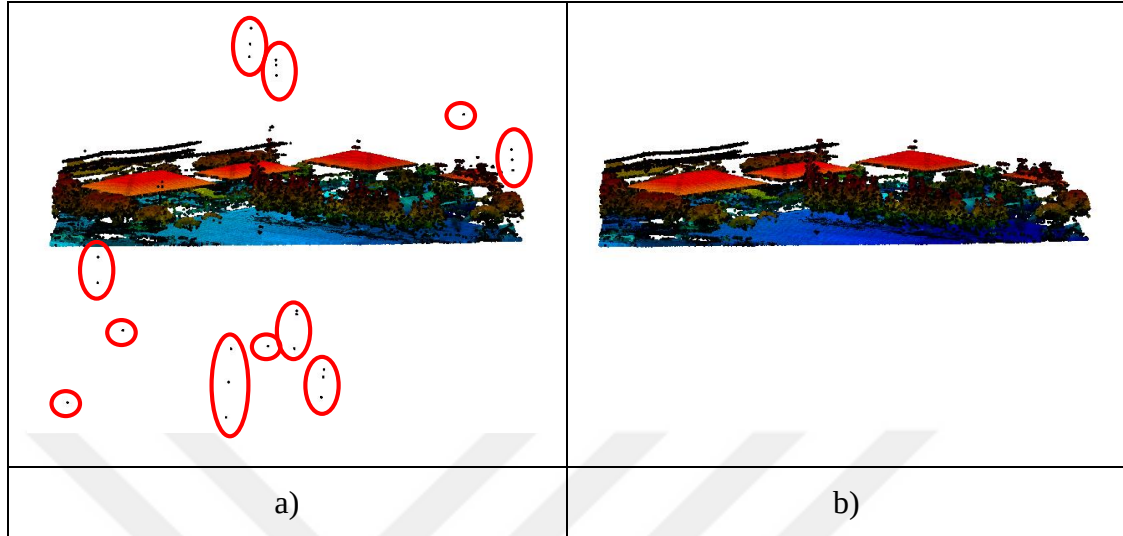


Şekil 3.2. Seçilen iki test alanı için (TA_1 ve TA_10) koordinat eşleme sonuçları: (a, b) koordinat eşleme işleminden önceki durum, (c, d) koordinat eşleme işleminden sonraki durum

3.1.2. Gürültü giderme

Çalışmada kullanılan LiDAR nokta bulutu verisi incelendiğinde, veride gürültü olduğu görülmüştür. Dolayısıyla LiDAR verisiyle herhangi bir işlem yapılmadan önce gürültünün giderilmesi gerekir. Gürültü giderme işlemi için *Lastools* yazılımı “*lasnoise*” modülü kullanılmıştır [29]. Bu modül girilen parametre değerlerine göre nokta yoğunluğunu da dikkate alarak izole noktaları kaldırır. Bu modülde *step_xy*, *step_z* ve *isolated* olmak üzere üç girdi parametresi vardır. Bu çalışmada, *step_xy* parametresi için 1, *step_z* parametresi için 1 ve *isolated* parametresi için 5 olmak üzere tüm test alanlarında aynı parametre değerleri kullanılmıştır. Parametre değerlerine göre, 3x3x3 grid etrafında 27 hücrenin her birinin boyutu x, y ve z için ‘-step 1’ metre boyutunda ayarlanmıştır. Verilen ‘-isolated 5’ değerine göre daha az noktaya sahip olan noktalar gürültü olarak kabul edilmiş ve silinmiştir.

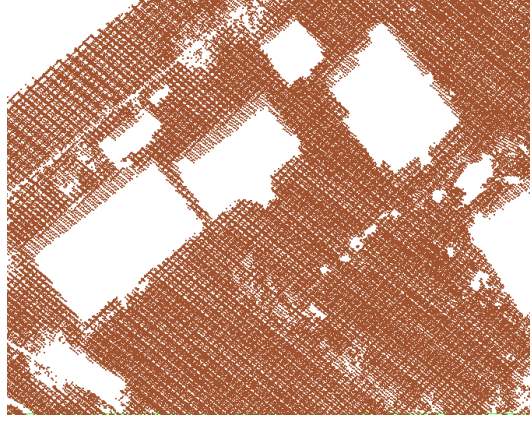
Çalışmada kullanılan test alanlarından (Bölüm 4.1) TA_1 test alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinin gürültü giderme işlemi öncesi ve sonrası durumları sırasıyla Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b 'de gösterilmiştir.



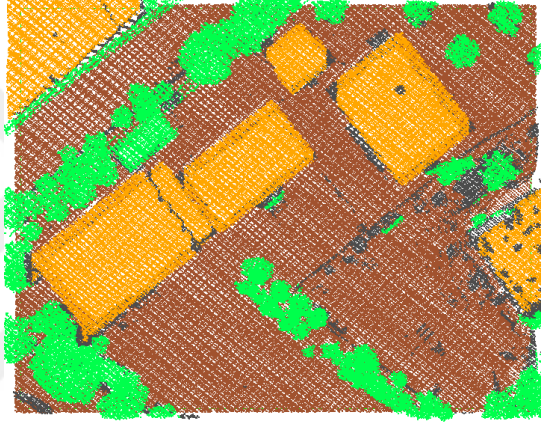
Şekil 3.3. TA_1 test alanına ait a) Gürültü içeren LiDAR nokta bulutu verisi, b) gürültü giderilmiş LiDAR nokta bulutu verisi

3.1.3. Zemin ve zemin üstü sınıfların ayrımı

Zemin, bina ve diğer nesnelere ait yüksekliklerin elde edilebilmesi için SAM ve SYM üretilmesi gerekir. Hava LiDAR sistemi, sadece kara yüzeyinden değil, aynı zamanda düzlem ve arazi arasındaki lazer ışınını yansıtabilen her nesne hakkında bilgi toplar. Bu yüzden, LiDAR nokta bulutu verisinden zemin dışındaki noktaları filtrelemek, SAM oluşturmanın en önemli adımlarından biridir. *Lastools* yazılımında “*lasground*” modülüyle LiDAR verisi uygun parametre değerleri ile filtrelenerek zemin ve zemin üstü verisi olarak sınıflandırılmıştır [29]. TA_1 test alanı için, zemin sınıfına ait nokta bulutu verisi Şekil 3.4 'de, zemin ve zemin üstü sınıflarına ait nokta bulutu verisi Şekil 3.5 'de gösterilmiştir.



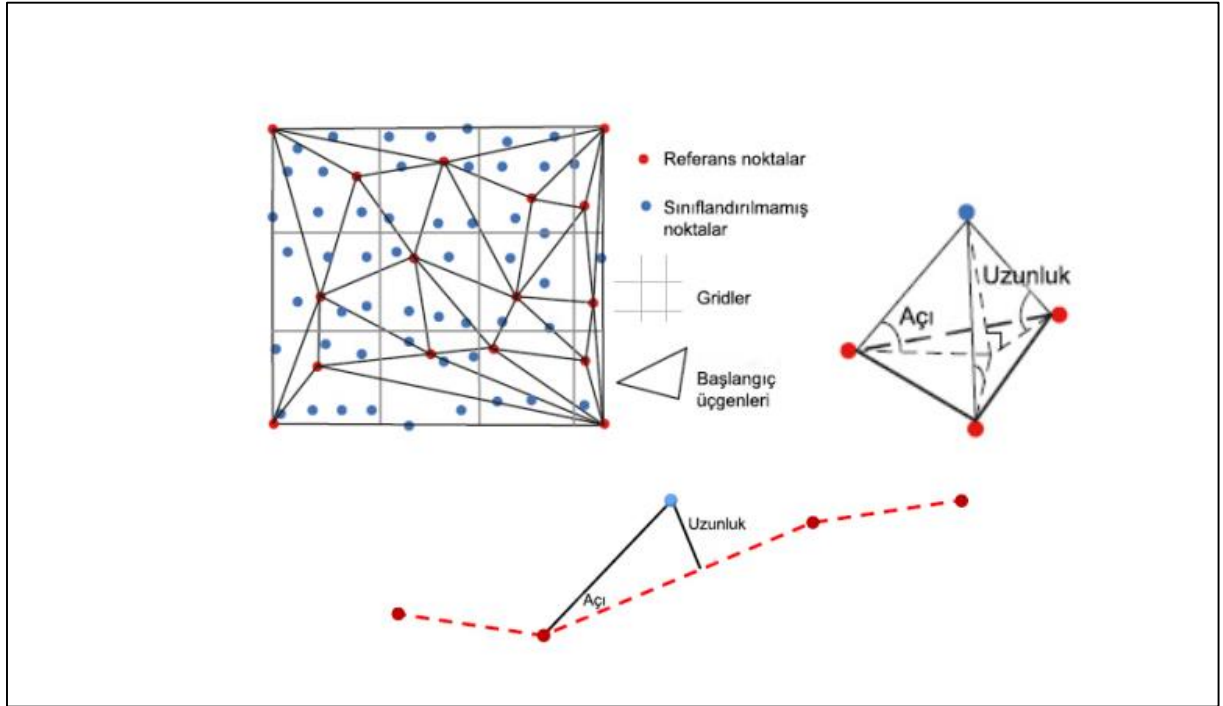
Şekil 3.4. TA_1 test alanı için zemin sınıfına ait nokta bulutu verisi



Şekil 3.5. TA_1 test alanı için zemin ve zemin üstü sınıflarına ait nokta bulutu verisi

Yer filtreleme işlemi için kullanılan birçok filtreleme algoritması vardır. Bu çalışmada kullanılan “*Lasground*” modülü komut dosyasında uygulanan filtreleme algoritması Axelsson (2000) tarafından geliştirilen Aşamalı TIN Yoğunlaştırma (Progressive TIN Densification) algoritmasıdır [30], [29] (Şekil 3.6). Algoritmada ilk aşama olarak nokta bulutu verisi gridlere bölünür. Gridlerin hücre boyutu çalışma alanında bulunan en büyük yapı tarafından belirlenir. Her gridin içerisindeki en düşük yüksekliğe sahip olan nokta çekirdek nokta (seed point) olarak belirlenir. Bütün çekirdek noktalar elde edildikten sonra, çıplak yeryüzü yüzeyine yaklaşık olan başlangıç TIN modeli oluşturulur. Her bir TIN yüzeyi içerisinde kalan henüz sınıflandırılmamış noktalar aşamalı yoğunlaştırma işlemi ile önemli girdi parametrelerinin eşik değerine dayanarak karar verme süreci başlar. Her iterasyonda, sınıflandırılmayan nokta zemin noktası olarak atanır. Bu noktanın zemin noktası olarak atanması için iki önemli parametrenin belirlenen eşik değerini aşmaması gerekir. Bu

parametreler; üçgen yüzeyi ve üçgenin en yakın nodu ile bu noktayı bağlayan çizginin açısı ve üçgen yüzeyi ile nokta arasındaki mesafedir. Bu parametreler eşik değerinin altında kalıyorsa zemin, eşik değerini aşıyorsa zemin üstü olarak sınıflandırılır. Her iterasyondan önce belirlenen zemin noktaları üçgen ağına dahil edilir. Tüm noktalar sınıflandırılana kadar bu işlem iteratif bir şekilde devam eder [30], [31], [32], [33]. Eşik değerleri her iterasyonda histogramlardan tahmin edilen medyan değerlere dayanarak hesaplanır.



Şekil 3.6. Aşamalı TIN yoğunlaştırma modeli [34]

“Lasground” modülünün parametreleri şunlardır:

- *Step* parametresi: Oluşturulacak gridin hücre boyutunu ifade eder. Çalışma alanında bulunan en büyük nesnenin boyutu kadar olmalıdır [35]. Bu çalışmada bu değer, test alanlarındaki en büyük nesnenin (bina) uzunluğu dikkate alınarak belirlenmiştir.
- *Bulge* parametresi: TIN modelinin içerisinde bulunan ve değişiklik yapılacak noktalardaki yukarı yöndeki çıkıntı miktarına ne kadar izin verileceğini belirler. Bu parametre değeri 5 metreden büyük “*step size*” parametresi için bu parametrenin onda biri aksi halde beşte biri kadardır.
- *Spike* parametresi: Bu parametre gürültüyü ayıklar. Başlangıçta oluşturulan kaba TIN modelinin içerisindeki noktaların mesafesini belirler. Bu yüzden, en düşük nokta yanlış olabileceği için bu değerin iyi belirlenmesi gerekir.

- *Offset* parametresi: *Step* ve *spike* parametreleri ile belirlenen TIN modelinden sonra iterasyon sonucu oluşturulan TIN modelinde mevcut zemine hangi noktaların dahil edileceği ayarlanmaktadır.

Her bir test alanında (Bölüm 4.1) zemin ve zemin üstü sınıfları ayrımının yapılmasında en uygun parametre değerlerinin belirlenmesine dikkat edilmiştir. Özellikle *step size* parametresi değeri için test alanlarındaki en büyük nesne olarak belirlenen bina boyutuna göre en uygun değer girilmiştir. *Step size* parametre değerinin bina büyüklüğünden küçük bir değer olması, filtreleme sonucunu olumsuz etkilemektedir. Yapılan denemeler neticesinde, test alanları için en uygun parametre değerleri, elde edilen sonuçların görsel yorumlanmasıyla belirlenmiştir. Test alanları için belirlenen parametre değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

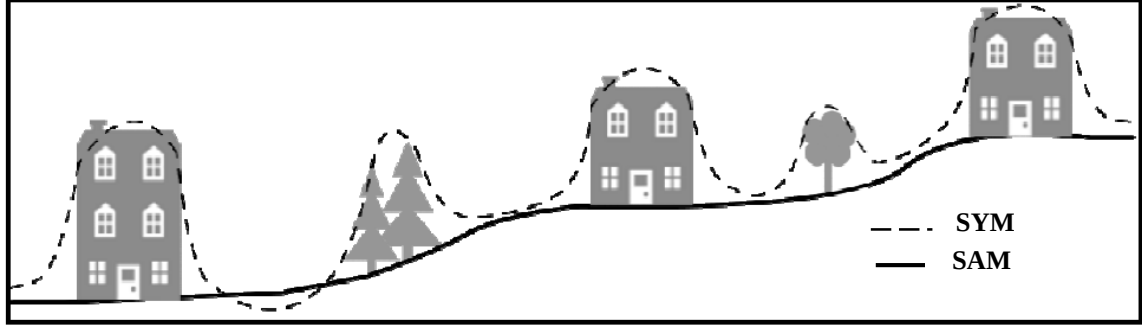
Çizelge 3.1. Test alanlarında zemin ve zemin üstü ayrımı için belirlenen parametre değerleri

Test Alanları	Step (m)	Bulge (m)	Spike (m)	Offset (m)	Stddev (cm)
TA_1	20	2	0.5	0.05	1
TA_2	25	2.5	0.5	0.05	1
TA_3	20	2	0.5	0.05	1
TA_4	15	1.5	0.5	0.05	1
TA_5	20	2	0.5	0.05	1
TA_6	15	1.5	0.5	0.05	1
TA_7	20	2	0.5	0.05	1
TA_8	15	1.5	0.5	0.05	1
TA_9	10	1	0.5	0.05	1
TA_10	15	1.5	0.5	0.05	1

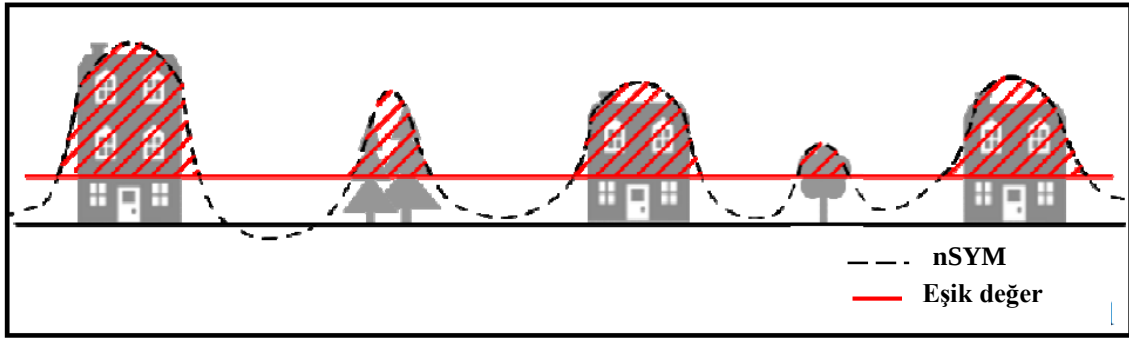
3.1.4. SYM, SAM ve nSYM oluşturma

Görüntülerden bina çıkarımında, zemin üzerinde farklı yüksekliklere sahip nesnelerin normalize edilmiş Sayısal Yükseklik Modelinden (nSYM) eşik değeri uygulanarak tespit edilmesi önemlidir (Şekil 3.7). nSYM üretimi için öncelikle SYM ve SAM üretilmesi gerekir. SYM, yeryüzüne ait konum ve yükseklik bilgilerinden elde edilen, çıplak arazi yüzeyinin yanında bitki örtüsü, ağaç, bina vb. gibi diğer tüm nesnelerin de dahil edildiği matematiksel bir yüzeydir. SAM ise, yalnız çıplak arazi yüzeyini gösteren bir modeldir. SYM açık alanlarda SAM’e eşdeğerdir [36] (Şekil 3.8). SYM ve SAM’ı, hava/uydu görüntülerinden stereo eşleştirmeye, topoğrafik haritaların sayısallaştırılmasıyla, Radar

Interferometri (InSAR) tekniğiyle, yersel ölçmelerle ve lazer tarama sistemleriyle doğrudan üretmek mümkündür [11]. LiDAR verileri ölçülen nesnelerin yükseklik değerlerini içerdiğinden SYM ve SAM üretmek genellikle daha hızlı ve kolaydır. Bu çalışmada nSYM'yi hesaplamak için, LiDAR verisinden önce SYM ve SAM üretilmiş sonra, SYM ve SAM 'nin farkı alınarak nSYM elde edilmiştir ($nSYM = SYM - SAM$).

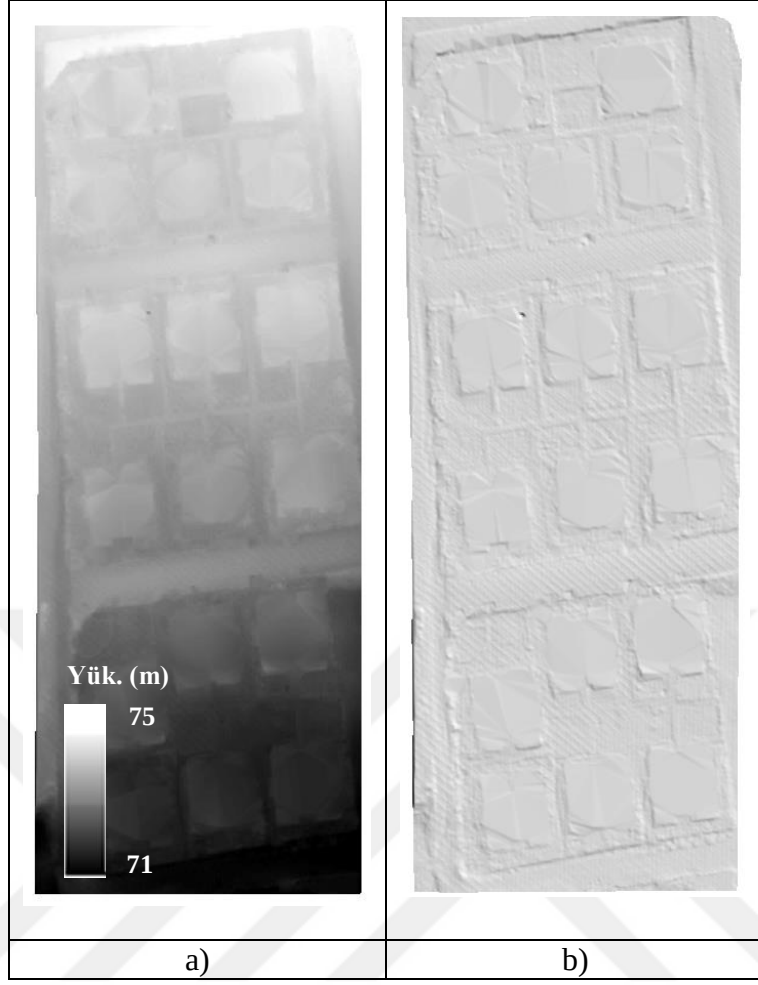


Şekil 3.7. SAM ve SYM 'nin gösterimi [37]

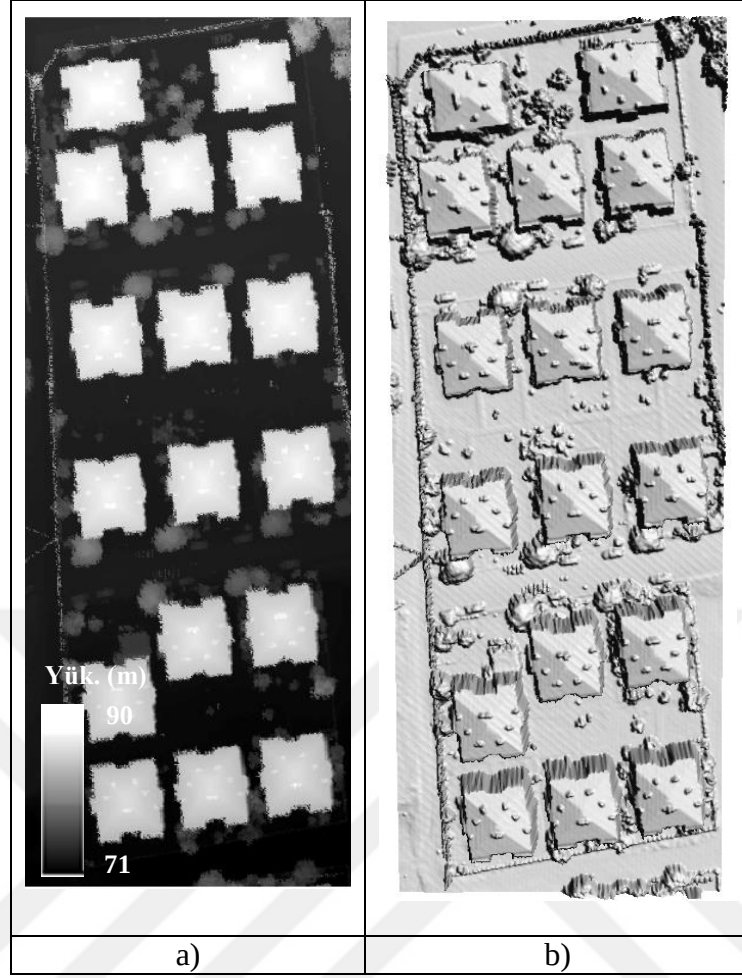


Şekil 3.8. nSYM 'ne eşik değeri uygulanması [37]

SYM ve SAM üretimi için *Lastools* yazılımı “*las2dem*” modülü kullanılmıştır [29]. SAM oluşturmak için, LiDAR nokta bulutu verisinden zemin dışındaki noktaların filtrelenmesi gerekir. Bölüm 3.1.3 'te yapılan filtreleme işlemi ile zemin ve zemin üstü olarak sınıflandırılan veriden zemin sınıfı kullanılarak SAM, ilk geri dönen (first return) sinyaller kullanılarak da SYM oluşturulmuştur. TA_10 test alanı için oluşturulan SAM ve SYM sırasıyla Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Üretilen SAM ve SYM modelleri ortofoto görüntüsü ile aynı çözünürlükte (0.3 m) ve raster formatında (.tif uzantılı) kaydedilmiştir.



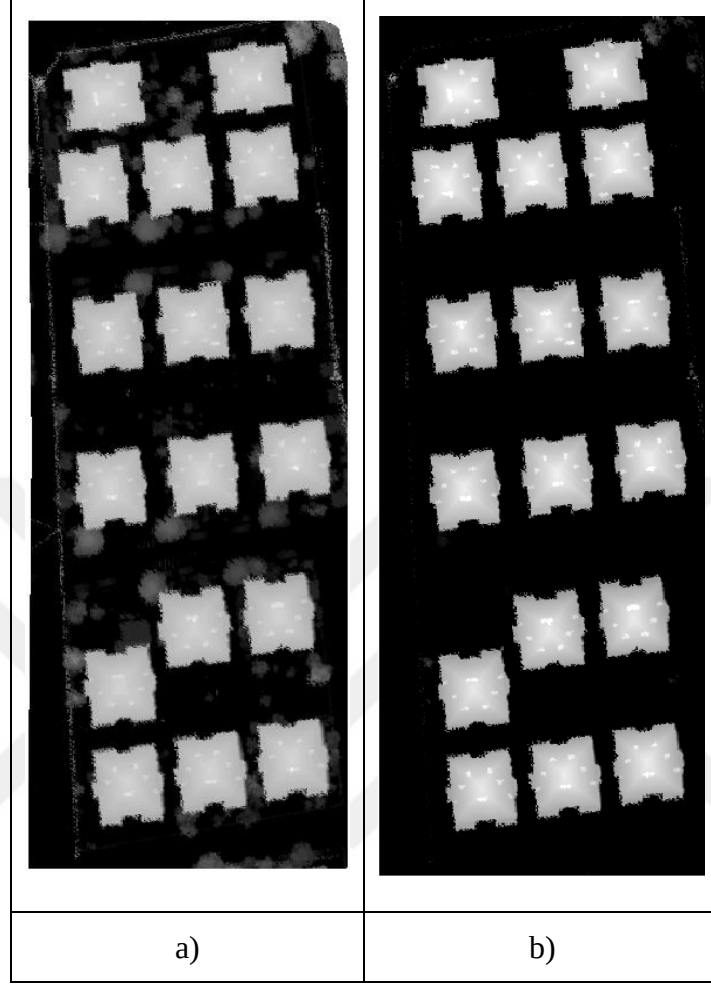
Şekil 3.9. TA_10 test alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen a) SAM, b) arazinin gölgeli rölyef gösterimi



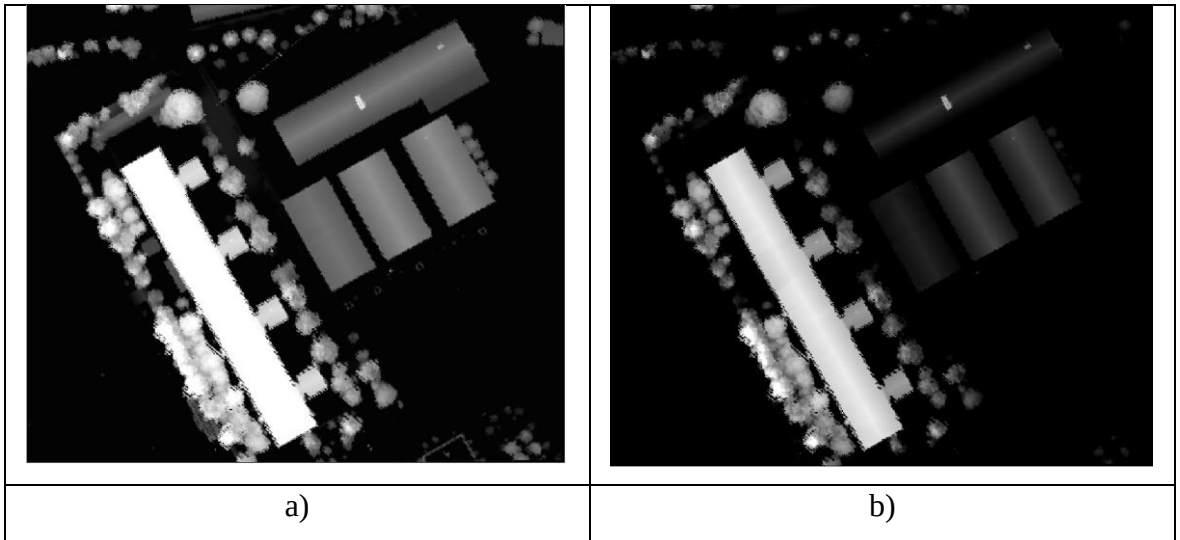
Şekil 3.10. TA_10 test alanına ait LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen a) SYM, b) arazinin gölgeli rölyef gösterimi

SYM ve SAM modellerinin oluşturulmasının ardından, *Matlab* yazılımında nSYM hesaplanmıştır. Elde edilen nSYM verisi topoğrafya etkisini dahil etmediği için yer üstünde bulunan tüm nesnelerin (bina, bitki örtüsü, diğer objeler vs.) yüksekliğini içerir. nSYM görüntüsünde, SYM görüntüsüne göre zemin ve zemin üstü nesneler arasındaki kontrastın arttığı görülmüştür [1]. Parlak olan yerler çevresindeki nesnelere göre daha yüksek olduklarını ifade eder. Zemin üstü nesnelerin arazi yüzeyinden ayrılması için nSYM'ne bir eşik değeri uygulanmıştır. Eşik değeri uygulanmasındaki amaç, sadece bina ve bitki nesnelerin kalmasını sağlamaktır. Bu çalışmada, bina yüksekliğinin 2.5 m 'nin altında olmayacağı varsayımı yapılarak yükseklik eşik değeri 2.5 m olarak belirlenmiş ve bu eşik değerinin altında değere sahip tüm pikseller nSYM görüntüsünden silinmiştir. Elde edilen görüntü eşiklenmiş nSYM (thresholded nDSM) görüntüsüdür ve bu görüntü ikili (binary) görüntü olarak kaydedilmiştir. İki farklı test alanı (TA_10 ve TA_4) için üretilen nSYM ve

2.5 m eşik değeri uygulandıktan sonra elde edilen eşiklenmiş nSYM Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. a) TA_10 test alanı için üretilen nSYM, b) eşiklenmiş nSYM



Şekil 3.12. a)TA_4 test alanı için üretilen nSYM, b) eşiklenmiş nSYM

3.1.5. Bitki örtüsü alanların belirlenmesi

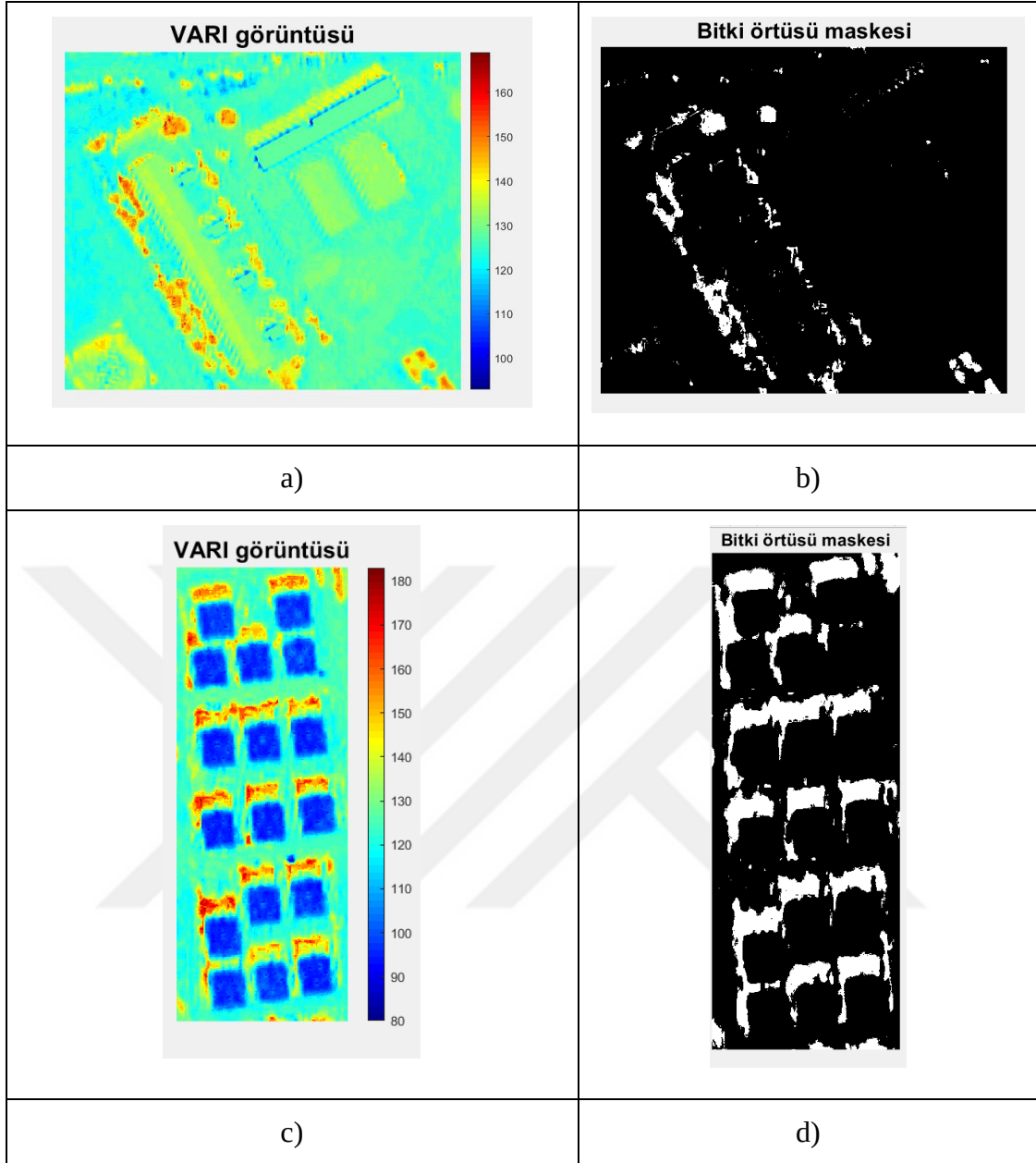
Çok bantlı veri setlerinde klorofil içeren yeşil bitki örtüsüne ait alanların diğer alanlardan ayırt edilebilmesinde belkide en yaygın kullanılan yöntem bitki indeksidir. Bu çalışmada bitki örtüsü alanları renkli ortofoto görüntüsü üzerinden belirlenmiştir. Mevcut ortofoto görüntüsü yakın kızıl ötesi bant içermediğinden, bitki indeksinin hesaplanmasında Kırmızı, Yeşil ve Mavi bantların kullanıldığı Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) eşitliği kullanılmıştır [38]. VARI bitki indeksi elektromanyetik spektrumun görünür dalgaboyu aralığındaki bitki örtüsünü tahmin etmek için kullanılan bir indekstir [39]. VARI bitki indeksinin hesaplanması Eşitlik 3.1'e göre yapılmıştır.

$$\text{VARI} = \frac{\text{Yeşil} - \text{Kırmızı}}{\text{Yeşil} + \text{Kırmızı} - \text{Mavi}} \quad \text{Eşitlik 3.1.}$$

VARI bitki indeksi hesaplama işlemi sonucunda elde edilen görüntünün piksel değerleri -1 ile 1 arasındadır. Bu nedenle, bu değerler Eşitlik 3.2 'ye göre 0–255 değerleri arasına yeniden ölçeklendirilmiştir. Sonra, VARI bitki indeksi görüntüsü belirlenen bir eşik değere göre eşiklenmiş ve ikili bitki maskesi oluşturulmuştur.

$$(\text{VARI} = \frac{\text{Yeşil} - \text{Kırmızı}}{\text{Yeşil} + \text{Kırmızı} - \text{Mavi}} + 1) * 128 \quad \text{Eşitlik 3.2.}$$

TA_4 ve TA_10 için oluşturulan VARI bitki indeksi görüntüleri sırasıyla Şekil 3.13a ve Şekil 3.13c 'de, eşik değer uygulanması sonra elde edilen ikili bitki maskesi Şekil 3.13b ve Şekil 3.13d' de gösterilmiştir. Şekil 3.13b ve Şekil 3.13d'de yer alan beyaz renkli alanlar bitki örtüsü alanları göstermektedir. Şekil 3.13a ve Şekil 3.13c'de gösterilen VARI görüntüleri görsel olarak incelendiğinde, bitki örtüsü alanlarının sarı, turuncu ve kırmızı renkli alanlar olduğu görülmektedir. TA_4 ve TA_10 test alanları için VARI görüntülerindeki renk ölçeğine bakıldığında 140 ve üzerindeki değerler bu renklere karşılık gelir. Dolayısıyla, TA_4 ve TA_10 test alanları için eşik değer 140 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, diğer test alanları için de VARI görüntüsü ve renk ölçeği incelenmiş ve uygun eşik değerler belirlenerek bitki örtüsü alanları tespit edilmiştir.



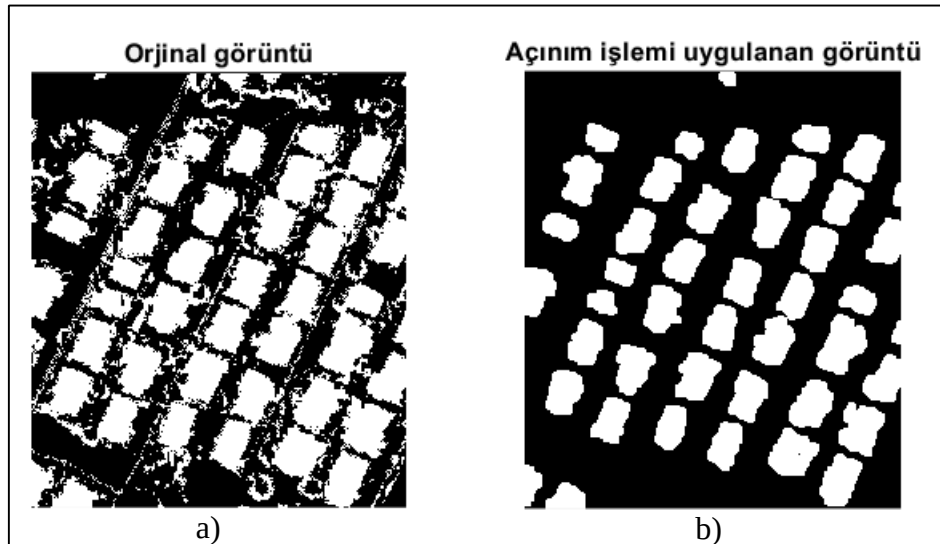
Şekil 3.13. a, c) TA_4 ve TA_10 test alanları için oluşturulan VARI görüntüleri, b, d) Bitki örtüsü alanları maskeleri.

3.1.6. Bina alanlarının tespit edilmesi

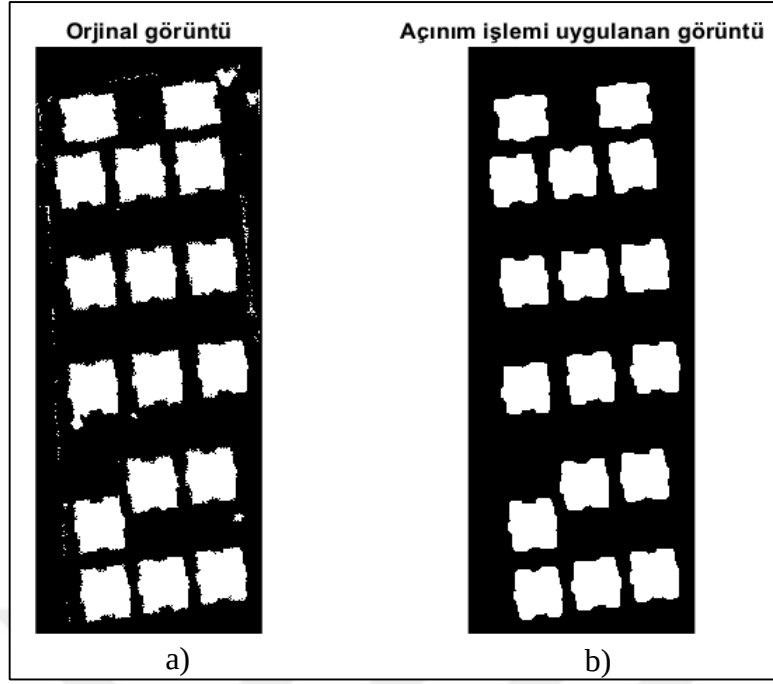
Eşiklenmiş nSYM görüntüsünden tespit edilen bitki alanları elimine edilmiştir (Şekil 3.14). Bu işlemin amacı, sadece bina alanlarının kalmasını sağlamaktır. Ancak, bina alanları ile birlikte bazı bitki örtüsü kalıntılarının da var olduğu görülmüştür. Bu kalıntıların yok edilmesi için morfolojik filtreleme işlemi kullanılmıştır.

Morfolojik filtreleme, görüntülerin şekilsel olarak ele alınıp işlenmesidir [40]. Günümüzde matematiksel morfoloji sayısal görüntü işleme için önemli operatörlerdendir. Matematiksel morfoloji ilk olarak ikili görüntüler için uygulanmış, daha sonra gri seviyeli görüntüler için de geliştirilmiştir [40]. Morfolojik operatörler ile filtreleme işlemi yapmak için, görüntü ve bu görüntüye uygulanan yapılanma elemanına (YE) (*structuring element-SE*) ihtiyaç vardır. Yapılanma elemanı, merkez noktası olan, komşu yapıyı tanımlamamızı sağlayan bir ikili görüntü (maske) 'dür. Yapılanma elemanı, farklı büyüklük ve şekillerde (dikdörtgen, kare, disk, elmas, küp vb.) olabilir [41]. Görüntüye morfolojik operatör uygulamak için, tüm görüntüde YE sistematik bir şekilde gezdirilir. Bu yüzden doğru sonuçlar elde etmek için YE'nin doğru seçilmesi gereklidir. En yaygın kullanılan matematiksel morfoloji operatörleri, aşınma (*erosion*) ve genişleme (*dilation*) operatörleridir. Bu operatörlerin birlikte kullanımı ile açılma (*opening*) ve kapanma (*closing*) operatörleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, açılma morfolojik operatörü disk şeklindeki YE ile birlikte kullanılmış ve sonuç görüntü morfolojik olarak iyileştirilmiştir. Açılma operatörü kullanılarak YE 'den daha küçük görüntü detayları yok edilmiştir. İkili A görüntüsünün B YE ile açılma işlemi matematiksel olarak $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$ şeklinde gösterilmektedir. Önce aşınma (*erosion*), sonra genişleme (*dilation*) operatörleri uygulanmıştır. Bu çalışmada morfolojik operatör işlemleri *Matlab* yazılımı ortamında uygulanmış olup örnek olarak TA_8 ve TA_10 test alanları için elde edilen sonuçlar Şekil 3.14 ve 3.15 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. TA_8 test alanı için elde edilen eşiklenmiş nSYM'nin (a) morfolojik iyileştirme öncesi görünümü ve (b) morfolojik iyileştirme sonrası görünümü



Şekil 3.15. TA_10 test alanı için elde edilen eşiklenmiş nSYM'nin (a) morfolojik iyileştirme öncesi görünümü ve (b) morfolojik iyileştirme sonrası görünümü

3.2. Hough dönüşümü ile bina sınırlarının belirlenmesi

Bina sınırlarının belirlenmesi için görüntüye önce “Difference of Gaussians” (DoG) filtresi uygulanarak görüntüdeki kenarlar çıkarılmıştır. Sonra, sadece binalara ait kenar piksellerinin kalmasını sağlamak için elde edilen kenar görüntüsü piksellerine nSYM verisinden yükseklik değerleri atanmıştır. Yükseklik değerine sahip kenar piksellerinden, alandaki binaların yüksekliği dikkate alınmak suretiyle belirlenen yükseklik eşik değerine göre (Y_{ED}), bu eşik değerin altındaki kenar pikselleri silinmiştir. Bu şekilde elde edilen kenar görüntüsü ikili görüntüye dönüştürülmüştür. Sonra, bu ikili görüntüden *Hough* dönüşümü ile bina kenarlarına ait çizgi segmentleri çıkarılmıştır. *Hough* dönüşümü ile bina kenarları çizgi segmentlerinin elde edilmesinden sonra, Bölüm 3.1.6 'da belirlenen bina alanları merkez noktaları olarak kullanılarak, her bir bina için, o binaya ait çizgiler, algısal gruplama kuralları kullanılarak gruplandırılmış ve bina sınırları elde edilmiştir. Bu bölümde anlatılan tüm işlemler için *Matlab* yazılımı kullanılmıştır.

3.2.1. Difference of Gaussians (DoG) filtresi ile kenar belirleme

Kenar, bir görüntüdeki piksellerin yoğunluk seviyesinde ani ve süreksiz değişimin olduğu piksellerdir. Bir görüntüde ani ve süreksiz değişimin olduğu pikseller belirlenirse kenarlar bulunur. Kenar belirleme işleminde, görüntünün en önemli yapısal özelliklerini korurken, görüntüdeki veri miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır [9].

Kenar belirleme algoritmaları ile görüntüden istenilen ana özellikler çıkarılmaktadır. Bu tez çalışması için ana özellik olarak bina kenarlarının çıkarılması amaçlanmıştır.

Kenar belirleme işlemi için kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemler gradyan tabanlı ve laplasyen tabanlı olarak kategorize edilmektedir [42]. Gradyan tabanlı yöntemde, kenarlar görüntünün birinci dereceden türevi alınarak belirlenmektedir. Gradyan büyüklüğü (magnitudü) kenar kuvvetinin ölçümünü hesaplamada kullanılmaktadır. Lokal yönsel maksima özelliğine sahip olan gradyan büyüklüğü, gradyan yönünde olan hesaplanmış lokal kenar yönlenmesine yardımcı olur. Laplasyen tabanlı yöntemde, kenarlar görüntünün ikinci türevinde doğrusal olmayan diferansiyel ifadenin sıfır geçişlerini (*zero crossings*) arayarak bulunmaktadır [42]. Detaya daha fazla tepki gösterir.

Kenar belirleme işleminde *Sobel*, *Prewitt*, *Canny*, *Laplacian of Gaussian (LoG)*, *Difference of Gaussians (DoG)*, *Roberts* vb. filtreler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kenar çıkarımı için *Difference of Gaussians (DoG)* filtresi kullanılmıştır. Bu filtre ikinci türeveye dayandığı için gürültüye daha duyarlı olup, görüntüden gürültünün filtrelenmesinde yardımcı olur [42]. Filtrede gürültünün azaltılması için Gauss (*Gaussian*) operatörü ve keskin kenarların algılanması için laplasyen operatörü kullanılmaktadır [43].

DoG filtresi, iki aşamalı kenar belirleme işlemi olmasından dolayı *LoG* filtresine benzer. Bu filtre laplasyanı Gauss dağılımına uygulayarak kullanılmaktadır [44].

DoG kenar belirleme filtresi aşağıdaki temel adımlardan oluşmaktadır:

- Görüntüye belirlenen iki farklı σ değeri ile Gauss filtresi uygulanması,
- Gauss filtresiyle yumuşatılan iki bulanık görüntünün farkının alınması.

DoG filtresi gri seviyeli görüntülere uygulandığı için çalışmada kullanılan KYM renkli ortofoto görüntüsü öncelikle gri seviyeli yoğunluk görüntüsüne dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm işlemi için Eşitlik 3.3 'te verilen KYM (RGB) renk uzayından YIQ renk uzayına dönüşüm formülü kullanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \text{Eşitlik 3.3.}$$

Eşitlik 3.3 'te Y parlaklığı, I renk ve Q doygunluk kavramlarını ifade etmektedir. KYM renkli görüntünün gri seviyeli yoğunluk görüntüsüne dönüşümü işleminde görüntünün parlaklığı korunurken, renk ve doygunluk bilgisi elimine edilmektedir. Bu yüzden, dönüşüm sırasında sadece Y (*parlaklık*) bileşenini hesaplamak yeterli olacaktır. Y bileşeninin hesaplanması Eşitlik 3.4'e göre yapılmıştır [45].

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad \text{Eşitlik 3.4.}$$

Bu işlemin ardından $f(x, y)$ görüntüsü belli genişlikteki σ_1 değeri kullanılarak Gauss kerneli ile yumuşatılarak (Eşitlik 3.5) $g_1(x, y)$ görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen $g_1(x, y)$ görüntüsü, orijinal görüntüden daha bulanıktır. Sonra, farklı bir σ_2 değeri kullanılarak görüntü tekrar Gauss kerneli ile yumuşatılmış (Eşitlik 3.6) ve ikinci yumuşatılmış $g_2(x, y)$ görüntüsü elde edilmiştir. Sonuç görüntü, her bir pikselin, elde edilen iki yumuşatılmış görüntü arasındaki farkla değiştirilmesi ve değerlerin sıfır geçişlerinin belirlenmesiyle hesaplanmıştır.

$$G_{\sigma_1}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_1^2}\right)$$

$$g_1(x, y) = G_{\sigma_1}(x, y) * f(x, y)$$

Eşitlik 3.5.

$$G_{\sigma_2}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

$$g_2(x, y) = G_{\sigma_2}(x, y) * f(x, y)$$

Eşitlik 3.6.

Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6 'da σ_1 ve σ_2 dağılımın standart sapmasını, x, y piksel görüntü koordinatlarını, g_1 ve g_2 yumuşatılmış görüntüleri ifade etmektedir.

DoG filtresi özet olarak Eşitlik 3.7 'de gösterilmiştir.

$$g_1(x, y) - g_2(x, y) = (G_{\sigma_1} - G_{\sigma_2}) * f(x, y) = DoG * f(x, y)$$

$$DoG \triangleq G_{\sigma_1} - G_{\sigma_2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\sigma_1} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_1^2} - \frac{1}{\sigma_2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_2^2} \right)$$

Eşitlik 3.7.

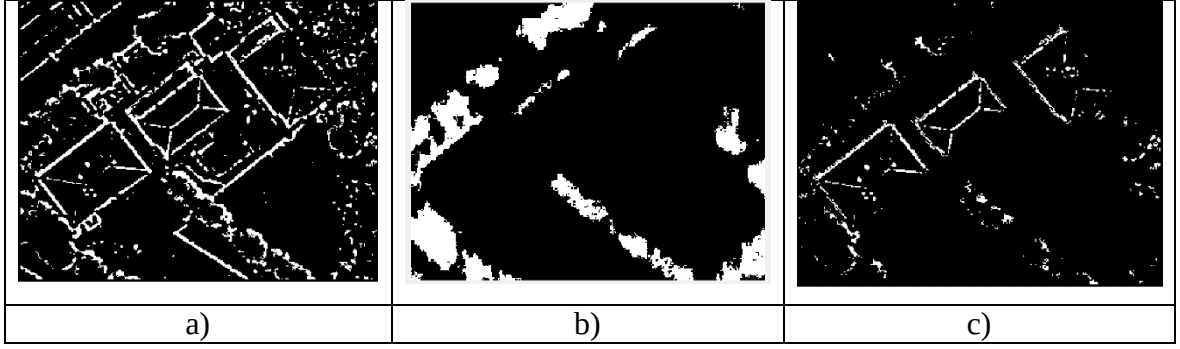
İki farklı alçak geçişli filtrelenen görüntü arasındaki fark olarak, *DoG* aslında gürültüyü temsil eden yüksek frekanslı bileşenleri ve görüntüdeki homojen alanları temsil eden bazı düşük frekanslı bileşenleri bastıran bir filtredir. Geçiş bandındaki frekans bileşenlerinin, görüntülerdeki kenarlarla ilişkili olduğu varsayılmaktadır [46]. *DoG* kenar belirleme algoritmasında pencere boyutu ve σ değerlerinin seçimine dikkat edilmelidir. Kenarları daha doğru şekilde belirlemek için σ_2 değerinin σ_1 değerine göre daha küçük bir değer seçilmesi gereklidir [47].

Bu çalışmada, tüm test alanları (Bölüm 4.1) için aynı pencere boyutu ve aynı σ değeri kullanılmıştır. Bu değerler belirlenirken pencere boyutu olarak farklı üç kernel boyutu (3, 5 ve 7) denenmiş, elde edilen filtrelenmiş görüntülerin görsel incelenmesi neticesinde 5×5 'lik pencere boyutunun uygun olduğu görülmüştür. Pencere boyutu, görüntüye ne kadar geniş bir Gauss filtresi uygulandığını gösterir. Yine, bu çalışma kapsamında yapılan denemeler neticesinde σ_1 için 8 ve σ_2 için 2 değerleri en uygun değerler olarak belirlenmiştir. Gauss kernel katsayıları σ değerine bağlıdır. σ değerini büyük seçmek, daha belirgin yumuşatma ve gürültünün giderilmesini sağlarken, keskin kenar sınırların yok edilmesine neden olmaktadır. Bu durumda bütün piksellerin ağırlığı işleme dahil edilmektedir. σ değerini küçük seçmek ise, daha az yumuşatma ve daha düşük gürültü giderilmesini sağlarken, kenar sınırlarının daha iyi korunmasına neden olmaktadır [48]. Şekil 3.16 'da TA_10 test alanına ait *DoG* filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.16. TA_1 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) DoG filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü

Hough dönüşümü ile bina kenarları çizgi segmentlerin çıkarılmasından önce, bitki örtüsü görüntüsü kullanılarak kenar görüntüsünden bitkilere ait kenar pikselleri elimine edilmiştir. Sonra, elde edilen görüntüye nSYM verisinden yükseklik değeri uygulanmıştır. Bu işlemdeki amaç, belirlenen yükseklik eşik değerinin (Y_{ED}) altında değere sahip kenar piksellerini elimine etmek ve sadece bina kenarları piksellerinin kalmasını sağlamaktır. Elde edilen kenar görüntüsü pikselleri yükseklik değerlerine de sahip oldukları için Hough dönüşümü öncesinde ikili görüntüye dönüştürülmüştür. Şekil 3.17a 'da TA_1 test alanına ait DoG filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü, Şekil 3.17b 'de bu alana ait bitki örtüsü maskesi ve Şekil 3.17c 'de bitki örtüsü piksellerinin elemine edilip, Y_{ED} uygulanması sonrası elde edilen kenar görüntüsü gösterilmiştir. Test alanları için Y_{ED} değeri belirlenirken, alanda yer alan en alçak binanın yüksekliği dikkate alınmıştır. Bu yüzden bu çalışmada, Y_{ED} değeri 2.5 m olarak belirlenmiştir. Bu değer, geçmiş çalışmalarda da kullanılmıştır [1], [2].



Şekil 3.17. TA_1 test alanı için a) DoG ile belirlenen kenar görüntüsü, b) bitki örtüsü maskesi, c) bitki örtüsü alanlarının kaldırılıp, yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüsü

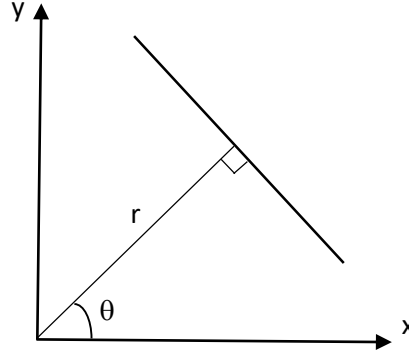
3.2.2. Bina kenarlarının Hough dönüşümü ile çıkarılması

Elde edilen kenar görüntüsünden bina kenarlarını çıkarmak için çizgi, daire ve diğer analitik şekillerin tespit edilebildiği yöntem olan Hough dönüşümü kullanılmıştır [49]. Hough dönüşümünün en önemli avantajı, görüntü gürültüsünden etkilenmemesidir. Görüntülerdeki doğruların belirlenebilmesi için, görüntüdeki her bir noktaya ait x_i ve y_i piksel koordinatlarına karşılık, farklı doğrultuda geçen sonsuz sayıda çizgilerden yapılan dönüşüm sonrası görüntüde tanımlanan bir doğru yer almaktadır [50] (Şekil 3.18). Her bir çizgi iki parametreyle (r, θ) ifade edilir (Eşitlik 3.8). Bu (r, θ) çifti, Hough parametre uzayında bir eğriye (sinüsoid) karşılık gelir. Bu eğrinin kesişim noktası aranılan (r, θ) çiftini verir. Fakat, tek bir noktadan sonsuz sayıda çizgi geçtiği için olası (r, θ) çiftleri akümülatör dizilerinde depolanır. Akümülatör dizisindeki bu değerler görüntüdeki çizgileri gösterir (Şekil 3.19).

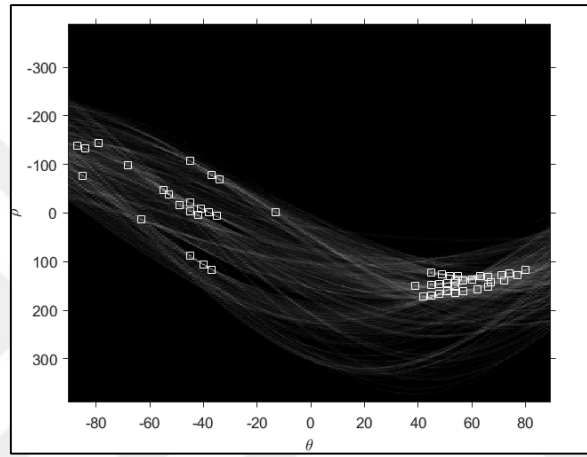
$$r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$$

Eşitlik 3.8.

Eşitlik 3.8 'te r çizginin orijinden olan normalinin uzunluğunu, θ çizginin normalinin orijinle yaptığı açıyı temsil eder.



Şekil 3.18. Doğrunun parametrik tanımlaması



Şekil 3.19. Hough parametre uzayı: Akümülatör dizileri (TA_1)

Hough dönüşümü, kenar görüntüsünde her değer için r ve θ hesaplar. Bu yüzden Hough dönüşümünde; θ (Theta) ve r (rho) çözünürlüğü, minimum çizgi uzunluğu (Minlength), tepe noktası sayılacak minimum değer (houghpeaks) ve iki çizgi segmenti arasındaki mesafe (Fillgap) önemli parametrelerdir.

θ çözünürlüğü= θ , belirlenen çizgi segmentlerinin miktarını kontrol eder. Bu değer artarsa belirlenen çizgilerin sayısı azalacaktır.

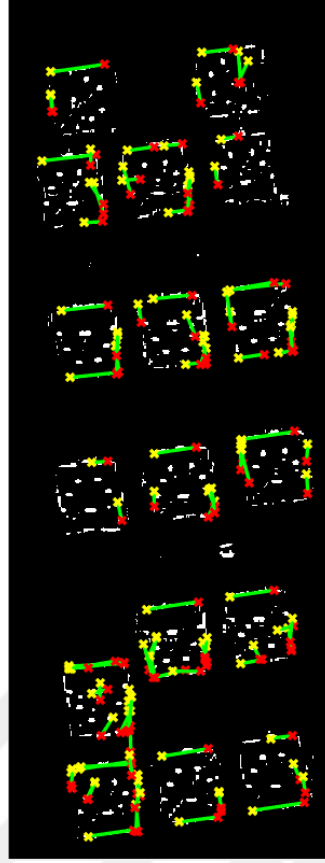
Minimum çizgi uzunluğu= Bu değer, minimum çizgi uzunluğunu belirlemektedir. Çizgi segmentlerini oluşturmak için aynı r , θ değerine sahip pikseller birlikte gruplandırılır. Eğer belirlenen çizgi uzunluğu bu değerden küçükse, bu çizgiler çıkarılır.

Tepe noktası sayılacak minimum değer= Bu değer, tepe noktalarını tanımlamak için belirlenen değerdir.

İki çizgi segmenti arasındaki mesafe= Küçük çizgileri daha geniş çizgilerle birleştirmek için belirlenen değerdir. İki çizgi segmenti arasındaki mesafe bu değerden küçükse, bu çizgiler birleştirilir.

Bu tez çalışmasında, test alanlarına ait en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi için denemeler yapılmıştır. θ ve r çözünürlüğü için tüm test alanlarında aynı parametre değeri kullanılmıştır. Geçmiş çalışmaların ve bu çalışma kapsamında yapılan denemelere ait sonuçlarının incelenmesi neticesinde θ ve r çözünürlük değeri “1” olarak alınmıştır [37], [9], [8]. Böylece r , θ çifti değerleri birer birer arttırılmıştır. Bu çözünürlük değeri çizgi segmentlerinin miktarını kontrol ettiği için, daha büyük çözünürlük değerlerinin seçilmesi durumunda binalara ait çizgi segmentleri kaybolmaktadır. Diğer parametreler belirlenirken alanın büyüklüğüne ve alanda yer alan binaların boyutlarına dikkat edilmiştir. Minimum çizgi uzunluğu parametresi değeri seçimi binaların boyutuna göre belirlenmiştir. Bu parametre değerinin büyük seçilmesi bazı istenmeyen çizgi segmentlerini kaldırırken, istenen çizgi segmentleri de kaybolabilmektedir. Tepe noktası sayılacak minimum değer parametresi değeri seçimi test alanların büyüklüğüne göre belirlenmiştir. Büyük ve bina sayısının fazla olduğu test alanları için bu değer yüksek seçilmiştir. Çünkü, büyük alanlarda bu değer küçük seçilmesi halinde bazı çizgi segmentlerinin belirlenememesi durumu ortaya çıkmaktadır. İki çizgi segmenti arasındaki mesafe parametresi değeri seçimi ise aynı kenar üzerindeki pikseller arasındaki boşluğa göre belirlenmiştir. Aynı kenara ait iki çizgi segmenti arasındaki mesafe bu değerden küçükse, bu çizgiler birleştirilir.

Kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile bina kenarları çizgi segmentlerin elde edilmesinden sonra, binalara ait olmadığı düşünülen fazlalık çizgiler elimine edilmiştir. Her test alanı için minimum çizgi uzunluğu parametresi değerine göre bir eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değerin altında uzunluğa sahip olan çizgiler elimine edilmiştir. TA_10 test alanına ait kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile elde edilen bina kenarları çizgi segmentleri Şekil 3.20 'de gösterilmiştir.

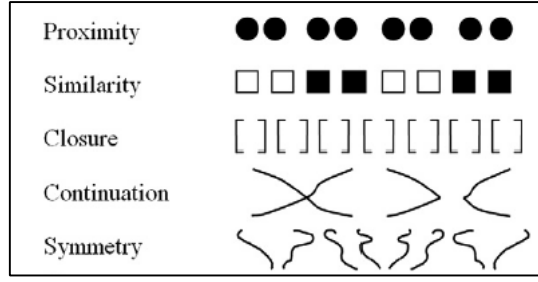


Şekil 3.20. TA_10 test alanı için, Hough dönüşümü ile belirlenen çizgi segmentleri

Şekil 3.20 'de her çizgi segmentinde sarı ve kırmızı renkli işaretler çizgi segmentlerin başlangıç ve bitiş noktalarını ifade etmektedir. Sarı renkli işaret başlangıç noktası piksel koordinatlarını ve kırmızı renkli işaret bitiş noktası piksel koordinatlarını göstermektedir.

3.2.3. Algısal gruplama kuralları ile bina sınırlarının çıkarılması

Hough dönüşümü ile elde edilen bina kenarları çizgi segmentlerinden bina sınırlarının çatımı için kural tabanlı algısal gruplama yöntemi kullanılmıştır. Algısal gruplama, ortak bir nedenden kaynaklanan algısal ilkeleri gruplandırmak için, yapısal organizasyonu algısal verilere dayatma yeteneğidir. Algısal gruplamanın ilkeleri, Gestalt psikologları tarafından tanımlanmaktadır [51]. Gestalt-psikologlar, gerçek dünyadaki görüntülerin algısal olarak gruplandırılmasında bir dizi ilkenin önemli olduğunu öne sürmektedir. Bu ilkeler; yakınlık (Proximity), devamlılık (Continuation), benzerlik (Similarity), kapanma (Closure), simetri (Symmetry), ortak bölge (Common Region) ve bağlanabilirlik (Connectedness) tir (Şekil 3.21) [51].



Şekil 3.21. Gestalt algısal gruplama ilkeleri [51]

Gestalt yakınlık ilkesi (*proximity*), “birbirine yakın nesneler veya şekiller, gruplar oluşturabilirler” ifadesine dayanmaktadır [52]. Şekiller, boyutlar ve nesneler birbirinden farklı olsa bile, birbirlerine yakınlarsa bir grup olarak algılanabilirler. Benzerlik ilkesi (*similarity*), nesneler birbirine benzediğinde ortaya çıkan bir durumdur. Şekil 3.21 ’de benzer olan siyah ve beyaz dikdörtgenler birlikte gruplandırılmıştır. Gestalt teorisi bütünlüğü aradığı için nesne eksik olduğunda kapatma ilkesine (*closure*) ihtiyaç duyulmaktadır. Kapalı olmayan şekiller eksik görünüyorsa, bu eksik bilgi doldurularak bütün algılanır. Devamlılık ilkesi (*continuation*), son noktanın ötesinde şeklin devam etme eğiliminde olduğunu belirtir. Simetrik ilkesi (*symmetry*), simetrik sınırlar tarafından çevrelenen bölgelerin birbiri ile uyumlu nesneler olarak algılanması anlamına gelmektedir.

Çalışmada bina sınırları çatımı için, Hough dönüşümü ile elde edilen çizgi segmentleri algısal gruplama ilkeleri ile gruplandırılmıştır. Yakınlık ilkesine göre, birbirlerine yakın olan çizgi segmentleri gruplandırılmıştır. Devamlılık ilkesi, çizgi segmentlerinin kolinear olduğu durumda kullanılmıştır. Kapanma ilkesinden ise, bina sınırlarının birleştirilmesi aşamasında yararlanılmıştır.

Geliştirilen algısal gruplama algoritması (Algoritma 1) şu şekildedir:

Algoritma 1: Algısal Gruplama

İŞLEME BAŞLA

Her bina alanı için,

Merkez noktayı (x_m, y_m) bul

Eğer kolinear çizgiler varsa, bu çizgileri birleştir

Merkez noktadan çizgilere olan mesafeyi (r) hesapla

En uzun kenarı (L_{E_1} - Longest Edge) belirle

En uzun kenara (L_{E_1}) dik olan en uzun kenarı (L_{E_2}) belirle

İki kenar arasındaki (L_{E_1} ve L_{E_2}) kesişim noktasını (Intersection Point- x_{INT}, y_{INT})

hesapla

Kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) ve merkez nokta (x_m, y_m) arasındaki mesafeyi (d)

hesapla

Merkez noktadan (x_m, y_m) d kadar ters yönde yeni köşe noktasını (New Point- (x_{NP}, y_{NP})) hesapla

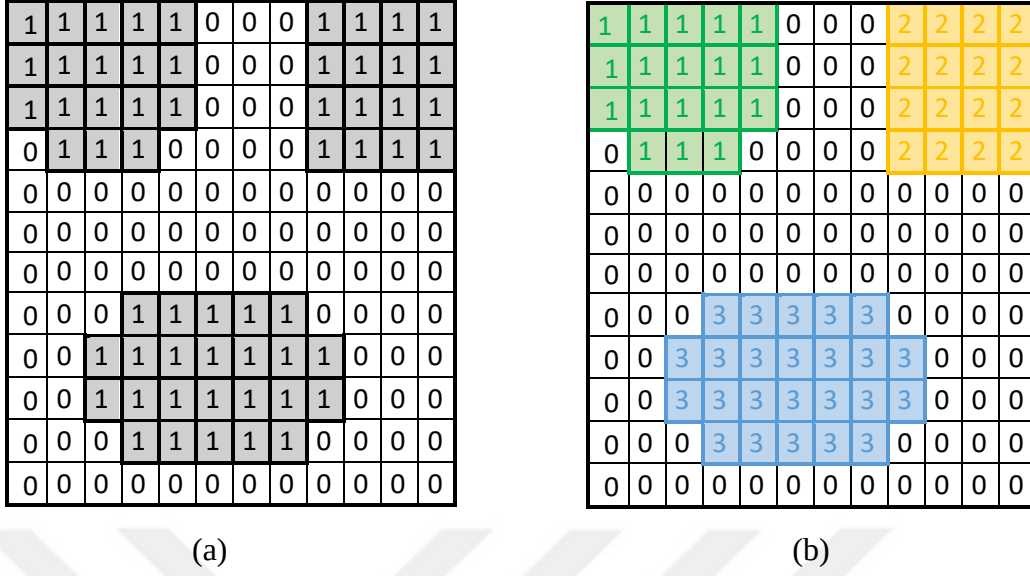
Yeni köşe noktasından (x_{NP}, y_{NP}) belirlenenen kurala göre kalan iki kenarı bul

Bulunan kenarları birleştirerek bina sınırlarını belirle

İŞLEMİ BİTİR

Bina sınırları çatımı için geliştirilen algısal gruplama algoritmasının (Algoritma 1) adımları aşağıdaki gibidir:

Bağlantılı Bileşenlere Etiketleme İşlemi (Connected Components Labeling): Bölüm 3.1.6'da elde edilen her bir bina alanının merkez noktasını ($x_m, y_m; m = 1, \dots, n$) hesaplamak için ilk olarak bağlantılı bileşenlere etiketleme işlemi (*Connected Components Labeling*) yöntemi kullanılır. Bina alanları görüntüsü ikili görüntü olduğu için 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır. 1 değeri bina alanlarını, 0 değeri ise arka planı göstermektedir. İkili görüntüde yer alan bina alanları piksel değerleri aynı değere (1) sahip olduklarından, bina merkezleri koordinatlarını (x_m, y_m) hesaplamadan önce, bu yöntem ile bina alanları birbiri ardına sıralanmış ve 1 'den başlayarak sırasıyla her bir binaya ait tüm piksellere o binanın sıra numarası etiketi verilmiştir. Örneğin, 4. sıradaki bina alanı piksellerine 4 değeri verilmiştir. Böylece, binalar bağımsız olarak tanımlanmış ve ayrı ayrı analiz edilmesi sağlanmıştır. Yapılan etiketleme işlemi şematik olarak Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. a) Bina alanlarına ait ikili görüntü, b) etiketleme işlemi sonrasında elde edilen görüntü

Bina alanlarının merkez nokta (x_m, y_m) koordinatlarının bulunması: Bağlantılı bileşenlere etiketleme işlemi (*Connected Components Labeling*) yöntemi ile binalar bağımsız olarak tanımlandıktan sonra her bir bina alanının merkez noktası $(x_m, y_m; m = 1, \dots, n)$ hesaplanır.

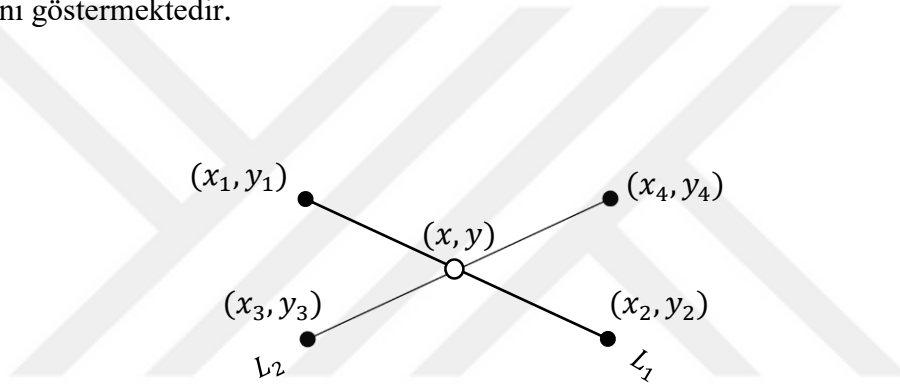
Kolinear çizgilerin birleştirilmesi: Bina alanları merkezlerinin (x_m, y_m) hesaplanmasından sonra, öncelikle çizgiler arasındaki kolinearite durumuna bakılıp kolinear çizgiler birleştirilir.

Merkez noktadan çizgilere olan mesafenin (r) hesaplanması: Her bir çizgi segmentinin orta noktasından bina alanı merkez noktasına (x_m, y_m) olan mesafeler (r) hesaplanır. Bu işlemin amacı her bir bina alanı merkez noktası etrafındaki çizgi segmentlerini yakınlık ilkesine göre gruptandırmaktır.

En uzun kenarı $(L_{E_1}$ - Longest Edge) ve en uzun kenara (L_{E_1}) dik olan en uzun kenarın (L_{E_2}) belirlenmesi: Bu işlem için, ilk olarak tüm çizgi segmentlerin uzunlukları (l) hesaplanır. r mesafe değeri baz alınarak belirlenen bir eşik değerine göre, her binaya ait en uzun kenar $(L_{E_1}$ - Longest Edge) ve bu kenara dik en uzun kenar (L_{E_2}) belirlenir. Bunun için, çizgi segmentleri arasındaki açı değerleri (α) hesaplanır. DoG kenar belirleme algoritması sonucundan dolayı, birbirini 90° (dik) kesen çizgi segmenti fazla sayıda olmayabilir. Bu

yüzden, birbirini dik kesen çizgi segmentlerinin tespit edilmesinde α değeri $90^\circ \pm 10$ ($80^\circ - 100^\circ$) olarak alınmakta olup α değeri 80° ile 100° arasında olan çizgi segmentleri birbirini dik kesen çizgi segmentleri olarak kabul edilmektedir. Böylece, her binaya ait dik iki kenar bulunmuş olmaktadır.

İki kenar arasındaki (L_{E_1} ve L_{E_2}) kesişim noktasının (Intersection Point- x_{INT}, y_{INT}) hesaplanması: Her binaya ait dik en uzun iki kenar (L_{E_1} ve L_{E_2}) bulunduktan sonra, bu iki kenarı gruplandırmak için, çizgiler arasındaki kesişim noktası (Intersection Point- x_{INT}, y_{INT}) koordinatları 2 boyutlu çizgi-çizgi kesişimi (line-line intersection) mantığı ile hesaplanır. L_1 ve L_2 çizgilerinin kesişimi (x, y) Şekil 3.23 'te gösterilmektedir. Şekil 3.23' te (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) , L_1 çizgi segmentinin, (x_3, y_3) ve (x_4, y_4) , L_2 çizgi segmentinin başlangıç ve bitiş noktalarını göstermektedir.



Şekil 3.23. Çizgi-çizgi kesişimi

Tespit edilen birbirine dik en uzun iki kenara (L_{E_1} ve L_{E_2}) ait iki çizgi segmentinin kesişim koordinatları Eşitlik 3.9 'da verilen formül ile hesaplanır. Hesaplanan kesişim noktası koordinatları, kenarların gruplandırılmasında belirlenen kurala göre iki çizgi segmentinin yeni başlangıç veya bitiş noktası olarak kullanılmaktadır.

Çizgi segmentlerinin gruplandırılması kuralı şu şekildedir:

- Kesişim noktasının x koordinatının, L_{E_1} ve L_{E_2} kenarlarının başlangıç ve bitiş x koordinatlarına olan mutlak farkına bakılır. Eğer L_{E_1} ve L_{E_2} için başlangıç x koordinatına olan fark, bitiş x koordinatına olan farktan küçük veya eşit ise, bulunan kesişim noktası L_{E_1} ve L_{E_2} kenarlarının yeni başlangıç noktası olur. Tam tersi durumda ise, bulunan kesişim noktası L_{E_1} ve L_{E_2} kenarlarının yeni bitiş noktasıdır.

$$x = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ x_3 & 1 \\ x_4 & 1 \end{vmatrix}} = \left(\frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(x_3 - x_4) - (x_1 - x_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \right)$$

$$y = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ x_3 & 1 \\ x_4 & 1 \end{vmatrix}} = \left(\frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \right)$$

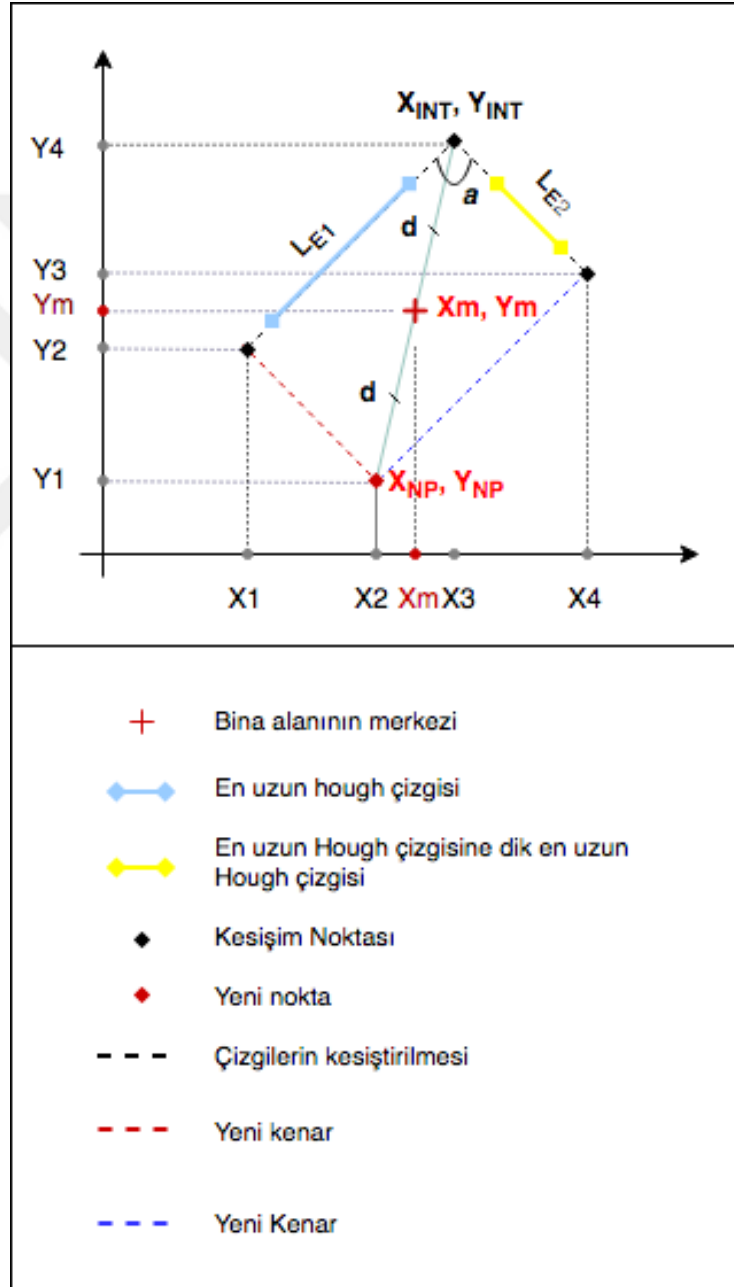
Eşitlik 3.9.

Kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) ve merkez nokta (x_m, y_m) arasındaki mesafenin (d) hesaplanması: Birbirine dik en uzun iki kenarın (L_{E_1} ve L_{E_2}) kesişim noktası koordinatları (x_{INT}, y_{INT}) hesaplanıp bu kenarlar gruplandırıldıktan sonra, bina sınırlarını belirlemek için kalan diğer iki kenarın da bulunması gerekir. Bunun için, kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) ve bina alanı merkez noktası (x_m, y_m) arasındaki mesafe (d) hesaplanır. Bu mesafenin hesaplanmasında merkez noktanın (x_m, y_m) bina orta noktasını temsil ettiği varsayımı yapılmıştır.

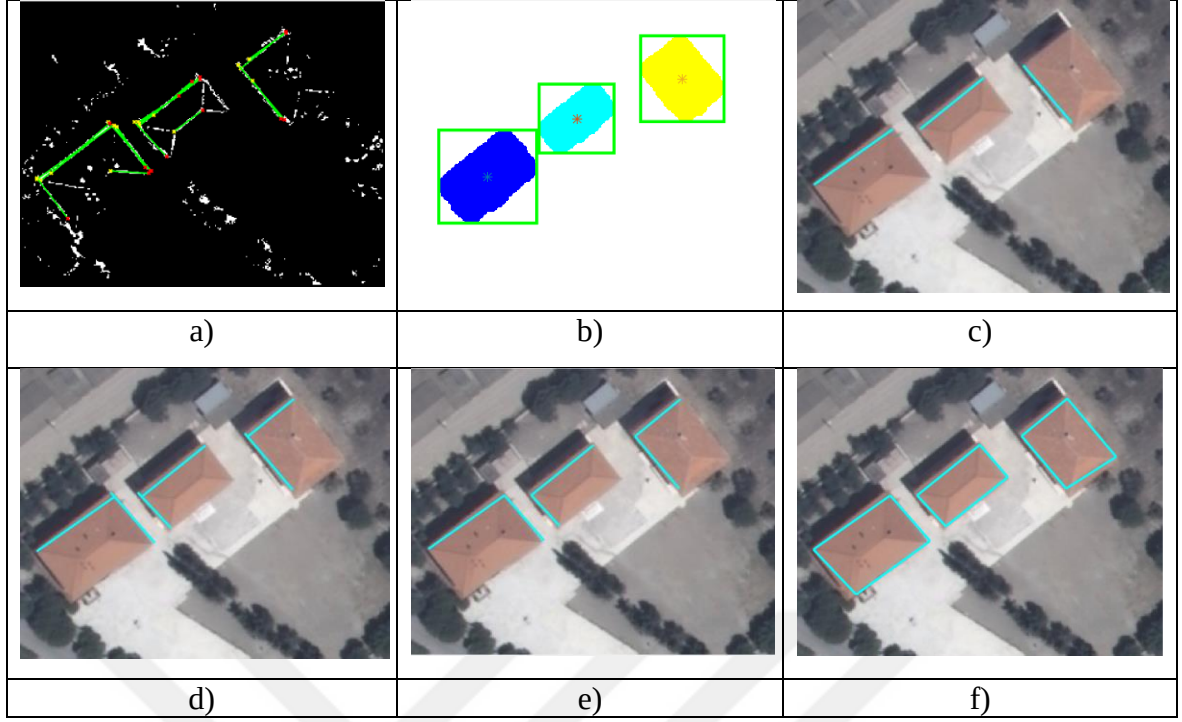
Yeni köşe noktasının (New Point- (x_{NP}, y_{NP})) koordinatlarının hesaplanması: Merkez noktadan (x_m, y_m) ters yönde d kadar gidilerek yeni bir köşe noktası (x_{NP}, y_{NP}) hesaplanır. Bu yeni köşe noktası binanın kalan diğer iki kenarının bulunması için önemlidir.

Yeni köşe noktasından (x_{NP}, y_{NP}) kalan iki kenarın bulunması: Bu kuralda gruplanan L_{E_1} ve L_{E_2} kenarlarının kesişim noktasına (x_{INT}, y_{INT}) bakılır. L_{E_1} ve L_{E_2} kenarlarına ait (x_{INT}, y_{INT}) noktası dışındaki noktalar kalan iki kenara ait başlangıç ve/veya bitiş noktası olarak düşünülmüştür. Bu noktalar yeni köşe noktası (x_{NP}, y_{NP}) ile birleştirilerek kalan iki kenar bulunup, algısal gruplama işlemi tamamlanır.

Geliştirilen algısal gruplama algoritması şematik olarak Şekil 3.24 'te gösterilmiştir. Algoritmanın TA_1 test alanı üzerindeki uygulama adımları Şekil 3.25 'te gösterilmiştir. Şekil 3.25a Hough dönüşümü ile belirlenen çizgi segmentlerini, Şekil 3.25b bina alanlarının merkez noktalarını (x_m, y_m) , Şekil 3.25c her bir binaya ait en uzun kenarları (L_{E1}), Şekil 3.25d en uzun kenarlara dik en uzun kenarları (L_{E2}), Şekil 3.25e (L_{E1}) ve (L_{E2}) kenarlarının kesişim noktasının belirlenip gruplandırılmasını ve Şekil 3.25f çatılmış bina sınırlarını göstermektedir.



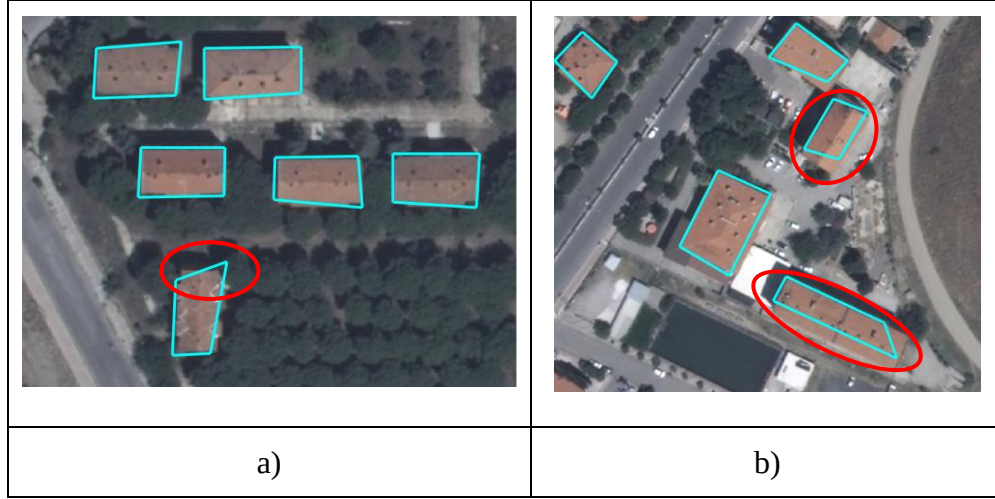
Şekil 3.24. Geliştirilen bina sınırı çatımı algoritmasının şematik gösterimi



Şekil 3.25. a) Hough dönüşümü ile belirlenen çizgi segmentleri, b) bina alanları orta noktaları, c) en uzun kenarlar (L_{E_1}), d) en uzun kenarlara dik en uzun kenarlar (L_{E_2}), e) kenarların kesişim noktasının belirlenip gruplandırılması, f) çatılmış bina

3.3. Çatılan bina sınırları içinde Tohum Bölge Büyütme Algoritması uygulanması

Algısal gruplama algoritması ile çatılan bina sınırları gerçek bina sınırlarını her zaman temsil etmeyebilir. Örneğin, Şekil 3.26a 'da kırmızı işaretli yerde çatılan bina sınırının dışarıya taşıdığı, Şekil 3.26b' de ise çatılan bina sınırının gerçek bina sınırı içinde kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, bina tespiti doğruluk oranını artırmak için çatılan bina sınırları içinde alan tabanlı segmentasyon yapılmıştır. Bina sınırları içerisinde otomatik seçilecek piksel gruplarına komşu olan benzer piksellerin gruplanması yöntemi ile bina tespiti doğruluğunun artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 3.26. Algısal gruplama kuralları ile a) TA_5 test alanına ait çatılan bina sınırları, b) TA_2 test alanına ait çatılan bina sınırları

Bunun için tohum bölge büyütme (*seeded region growing*) segmentasyon algoritması kullanılmıştır. Tohum bölge büyütme algoritması, bir görüntüdeki pikseller arasında homojenlik / benzerlik kriterlerinin uygulanması ile görüntünün birbiriyle ilişkili piksel alanlarına ayrılmasına dayanan bir segmentasyon yöntemidir. Bir bölgedeki piksellerin her biri renk, yoğunluk ve doku gibi hesaplanan özelliklere göre benzerdir [54]. Algoritma başlangıç tohum (seed) noktalarının belirlenmesi ile başlar. Sonra, başlangıç tohum noktalarının komşu pikselleri incelenir ve benzer özelliklere göre komşu piksellerin bölgeye eklenip eklenilmeyeceğine karar verilir. Bu kümeleme işlemi bölgedeki tüm pikseller ekleninceye kadar devam eder [55].

Bu çalışmada bölge büyütme algoritması için ücretsiz açık kaynak kodlu coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) yazılımının *Seeded Region Growing* modülü kullanılmıştır [56].

Tohum bölge büyütme segmentasyonu uygulanması için başlangıç tohum noktalarının belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada başlangıç tohum noktalarının seçimi *Matlab* yazılımı ortamında ve otomatik olarak yapılmıştır. Başlangıç tohum noktalarının bina üzerinde olmasını sağlamak amacıyla, Bölüm 3.2 'de çatılan bina sınırları içerisinde tampon (buffer) bölgeler oluşturulur. Bu tampon bölgelerin içi bina sınırları içerisinde seçilen piksel gruplarını ifade etmektedir. Algoritma tampon bölgelere göre birbiriyle ilişkili pikselleri gruplandıracaktır. Tampon bölge oluşturmak için, çatılan bina sınırlarının kapalı alan (poligon) yapısına dönüştürülmesi gerekir (Şekil 3.27a). Bunun için önce belirlenen kuralla

göre bina sınırlarının köşe nokta koordinatları bulunur. Binaların köşe noktaları bulunurken çatılan her binaya ait çizgi segmentleri birbiriyle karşılaştırılarak, bu çizgi segmentlerine ait ortak noktalar bulunur. Bu ortak noktalar binaların köşelerini oluşturan noktalardır. Poligon yapısına dönüştürülmesinden sonra, çatılan bina sınırları içerisine belirlenen k birim mesafesi kadar tampon alan oluşturulur (Şekil 3.27b). Bu çalışmada k tampon genişliği 5 birim (piksel) olarak alınmıştır. Bu tampon genişliğinin çalışmada kullanılan renkli ortofotonun çözünürlüğüne (30 cm) göre arazideki karşılığı 1.5 m dir ($5 \times 0.30 \text{ cm} = 1.5 \text{ m}$). Oluşturulan tampon bölgeler sonra SAGA yazılımı *Seeded Region Growing* modülünde başlangıç tohum alanları olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.27. Çatılan bina sınırlarından a) poligon oluşturma, b) başlangıç tohum alanları için tampon bölge oluşturma

SAGA yazılımında Tohum Bölge Büyütme algoritmasının işlem adımları şu şekildedir:

- 1- SAGA 'nın Bölge Büyütme algoritması sadece tek bantlı görüntülerle çalıştığı için, ilk olarak çok bantlı görüntüler onları oluşturan bireysel bantlara ayrılır. Bu çalışmada kullanılan görüntüler renkli 3 bantlı olduğu için Kırmızı, Yeşil ve Mavi bantlara ayrılmıştır.
- 2- Vektör poligon yapıdaki başlangıç tohum alanları raster veri yapısına dönüştürülmüştür. Elde edilen raster görüntünün, orijinal renkli ortofoto görüntü ile aynı koordinat referans sistemi, genişlik ve piksel boyutuna sahip olması gerekir.
- 3- Kullanılacak olan girdi verileri elde edildikten sonra SAGA yazılımında Tohum Bölge Büyütme algoritması uygulanmıştır. Bu algoritmada girdi verileri tohum (Seeds) ve objeler (Features) 'dir. Tohum girdi verisi olarak raster formata

dönüştürülen poligon tohum alanları, obje girdi verisi olarak da bireysel bantlara ayrılan görüntü kullanılmıştır.

- 4- Algoritma her başlangıç tohum alanı için benzer özelliğe sahip olan pikselleri bulup birleştirir.
- 5- Algoritmada komşuluk (neighborhood), renk uzayında varyans – konum uzayında varyans (variance in feature space – variance in position space) ve benzerlik eşik değeri (similarity threshold) parametreleri kullanılmaktadır.

Tohum Bölge Büyütme algoritması, tohum noktasıyla başlayıp, komşu piksellere gitmesi ve yeterince benzer olması halinde bu pikselleri birleştirir [57]. Tohum alanlarından başlayarak komşu pikseller için benzerlik koşulunun hesaplanması için Eşitlik 3.10 'de gösterilen formülünden yararlanılır [55].

$$\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(f_p - f_s)^t * (f_p - f_s)}{\sigma_1} + \frac{(r_p - r_s)^t * (r_p - r_s)}{\sigma_2}\right)\right) > \beta \quad \text{Eşitlik 3.10.}$$

Bu eşitlikte;

r_p : konum uzayında aday pikselin konumu

f_p : renk uzayındaki konumu

r_s : konum uzayında tohum konumu

f_s : renk uzayında tohum konumu

σ_1 : renk uzayındaki varyansı

σ_2 : konum uzayındaki varyansı

β : benzerlik kriteri için kullanılan eşik değeri 'ni ifade etmektedir.

Belirlenen eşik değerine göre varyanslar Eşitlik 3.11 'deki gibi hesaplanır [55].

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{3 * 0.4^2}{-2 \ln(\beta)}} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad \text{Eşitlik 3.11.}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\delta^2}{-2 \ln(\beta)}}$$

Bu çalışmada, komşuluk parametresi olarak 8, renk uzayında varyans (σ_1) değeri olarak 10, konum uzayında varyans (σ_2) değeri olarak 8 ve benzerlik eşik değeri olarak 0.08 alınmıştır. Şekil 3.28 'de TA_1 test alanı için tohum bölge büyütme algoritması ile elde edilen binalar gösterilmiştir.

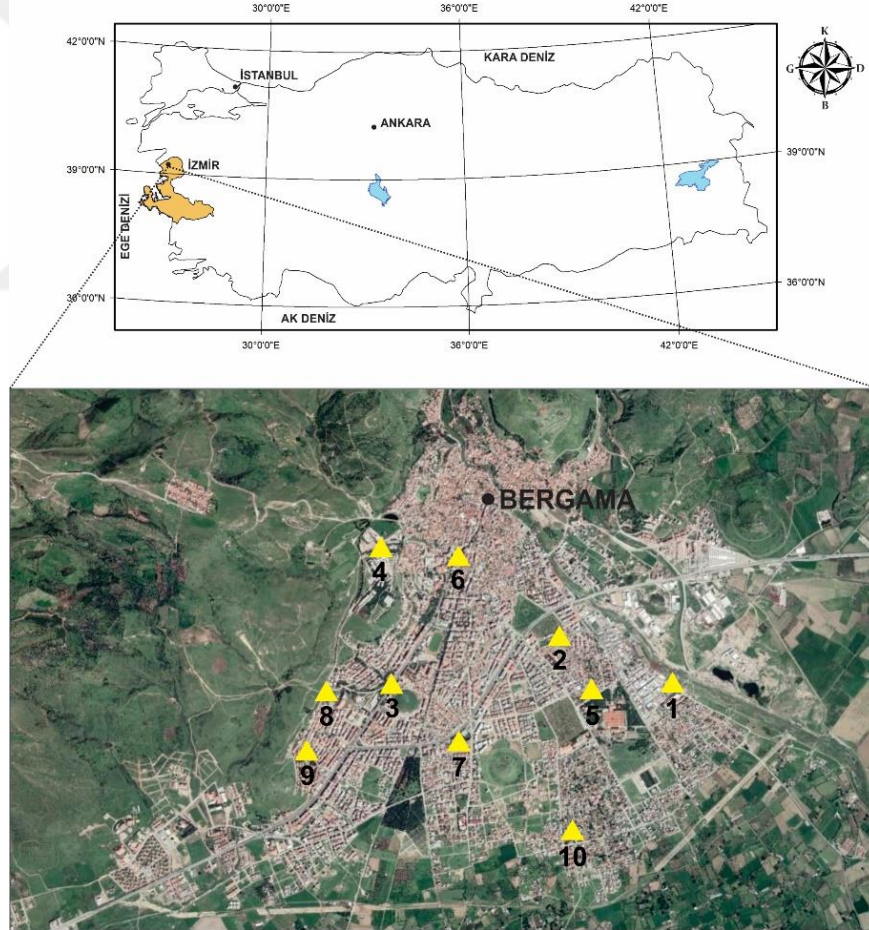


Şekil 3.28. TA_1 test alanı için, tohum bölge büyütme algoritması ile elde edilen binalar

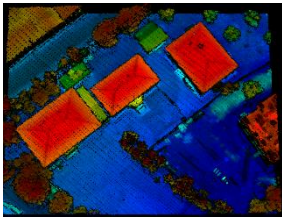
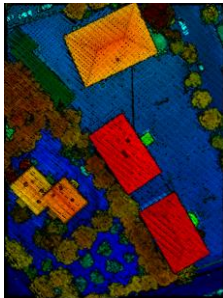
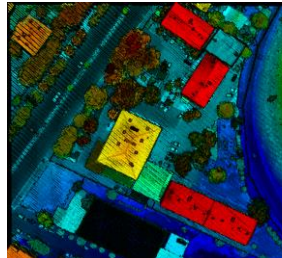
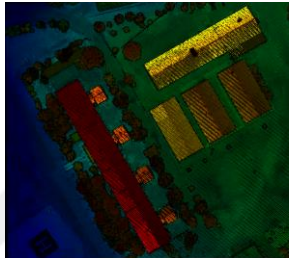
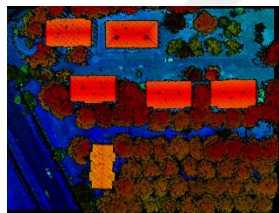
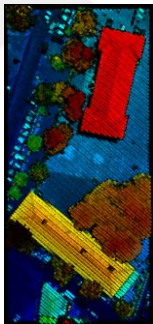
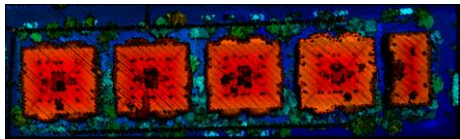
4. TESTLER VE BULGULAR

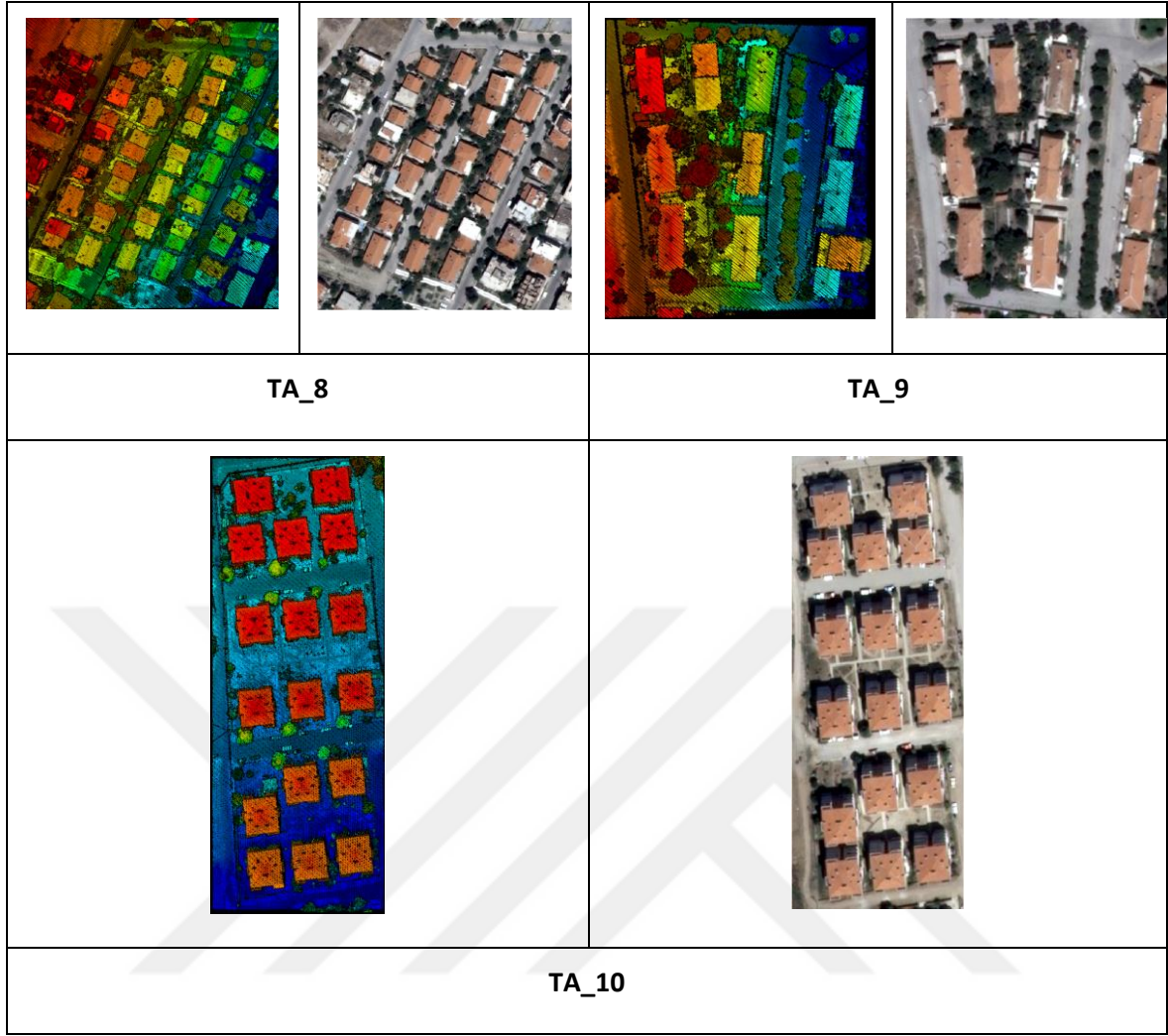
4.1. Test Alanları ve Veriler

Geliştirilen yaklaşım İzmir ili Bergama ilçesinden seçilen 10 test alanında uygulanmıştır. Test alanlarının konumları Şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Çalışmada, LiDAR nokta bulutu verisi ve yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto kullanılmıştır. Test alanlarına ait LiDAR nokta bulutu verisi ve renkli ortofoto Şekil 4.2’ de gösterilmektedir. Çalışma için belirlenen test alanlarının seçiminde farklı özelliklere sahip, farklı sayıda konut içeren ve bitki örtüsü alanlarının bulunmasına dikkat edilmiştir. Belirlenen 10 test alanı, TA_1,..., TA_10 şeklinde adlandırılmıştır. LiDAR verileri UTM 6° WGS 84; 35 North projeksiyonunda, ortofoto görüntüleri ise 3°’ lik projeksiyonda tanımlanmıştır. Test alanlarının koordinatları Çizelge 4.1’ de verilmektedir.



Şekil 4.1. Test alanlarının konumları

			
TA_1		TA_2	
			
TA_3		TA_4	
			
TA_5		TA_6	
			
TA_7			



Şekil 4.2. Test alanlarına ait LiDAR nokta bulutu verisi ve KYM ortofoto görüntüsü

Çizelge 4.1. Test alanlarının koordinatları

Test alanları	X-Y (Kuzeydoğu)		X-Y (Güneybatı)	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
TA_1	516922.839	4328832.867	516831.551	4328876.112
TA_2	516075.962	4329201.316	516011.339	4329113.793
TA_3	514861.786	4328934.942	514716.256	4328806.658
TA_4	514853.673	4329962.142	514669.622	4329804.138
TA_5	516332.994	4328797.865	516213.786	4328708.005
TA_6	515312.350	4329830.355	515244.35	4329721.181
TA_7	515396.406	4328492.271	515259.316	4328454.240
TA_8	514386.768	4328863.961	514224.355	4328677.807
TA_9	514204.404	4328469.744	514101.624	4328355.403
TA_10	516131.539	4327777.544	516057.454	4327579.346

LiDAR nokta bulutu verisi Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilmiştir. Çalışma bölgesinde LiDAR uçuşu, 2014 yılında Optech firması tarafından Pegasus HA-500 sistemi ile 1200 m uçuş yüksekliğinden gerçekleştirilmiştir [58]. Test alanlarına ait nokta bulutu verilerinin .las dosyasına kaydedilen meta verileri incelenmiş olup nokta sayıları ve nokta yoğunluğu bilgisi (m^2 ' ye düşen ortalama nokta sayısı) Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Test alanlarına ait LiDAR verisi nokta sayıları ve nokta yoğunlukları

Test Alanları	Nokta sayısı (adet)	Nokta yoğunluğu (nokta/ m^2)
TA_1	202315	22.63
TA_2	212632	25.30
TA_3	375778	13.92
TA_4	530368	15.30
TA_5	286059	17.27
TA_6	75656	10.06
TA_7	79333	9.41
TA_8	660870	14.92
TA_9	186461	10.36
TA_10	426056	21.33

Yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntüleri 30 cm konumsal çözünürlüğe sahip olup, Kırmızı, Yeşil ve Mavi (KYM) olarak üç banttan oluşmaktadır. Ortofoto görüntüsü TKGM (Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü) tarafından temin edilmiştir. Ortofoto görüntülerinin çekim tarihi 2010 yılına aittir. Test alanlarının görsel analizleri neticesinde, ortofoto görüntüleri ve LiDAR nokta bulutu verisi arasındaki dört yıllık zaman farkından dolayı bina nesnelerinde herhangi bir değişimin olmadığı görülmüştür.

4.2. Doğruluk Analizleri

Geliştirilen yaklaşım ile belirlenen binaların doğruluk analizleri, ortofotodan elle çizilen referans veriler ile karşılaştırılmak suretiyle yapılmıştır. Testlerde farklı özelliklere sahip ve farklı sayıda konut içeren test alanlarının kullanılması, yaklaşımın başarısının daha güvenilir olarak ölçülmesini sağlayacaktır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, bina belirleme yaklaşımlarının performansları nesne tabanlı, piksel tabanlı ve geometrik olmak üzere üç kategoride değerlendirilmiştir [2], [27], [25], [59], [60]. Her bir kategorinin performansını değerlendirmek için bazı indeksler örn.,

doğruluk-correctness, bütünlük-completeness, kalite-quality vd. kullanılmaktadır. Bu çalışmada doğruluk analizleri nesne tabanlı ve piksel tabanlı yöntemler kullanılarak yapılmış olup gerekli tüm hesaplamalar “*Matlab*” yazılımı ortamında gerçekleştirilmiştir.

Nesne tabanlı yöntemde performans değerlendirmesi tespit edilen nesnelerin sayısına göre yapılmıştır. Bu yöntem [27] tarafından yapılan çalışmada kullanılmıştır. Örneğin, 29 adet bina bulunan bir test alanında 25 adet bina geliştirilen yöntemle bulunmuşsa, tespit edilen nesnelerin toplam nesne sayısına oranı hesaplanmıştır. Piksel tabanlı yöntemde performans değerlendirmesi referans ve sonuç verinin piksel sayılarının karşılaştırılması ile yapılmıştır [27].

Nesne tabanlı ve piksel tabanlı analiz sonuçlarının hesaplanması için Bina Belirleme Bütünlüğü (Building Detection Completeness), Bina Belirleme Doğruluğu (Building Detection Correctness) ve Kalite Yüzdesi (Quality Percentage) indeksleri kullanılmıştır (Eşitlik 4.1).

$$\begin{aligned} \text{Bina Belirleme Bütünlüğü (BDCom.)} &= \frac{TP}{TP + FN} * 100\% \\ \text{Bina Belirleme Doğruluğu (BDCor.)} &= \frac{TP}{TP + FP} * 100\% \\ \text{Kalite yüzdesi (QPct.)} &= \frac{TP}{TP + FN + FP} * 100\% \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{Eşitlik 4.1.}$$

Eşitlik 4.1’ de, TP (True Positive) Doğru Pozitif, FP (False Positive) Yanlış Pozitif ve FN (False Negative) Yanlış Negatif kavramlarını ifade etmektedir. Doğru Pozitif (TP), hem referans veri setinde hem de sonuç veri setinde ortak olarak bulunan binaların sayısıdır. Yanlış Pozitif (FP), uygulanan yöntem ile belirlenen binaların sayısıdır. Referans veri setinde herhangi bir binaya karşılık gelmez. Yanlış Negatif (FN), otomatik olarak belirlenmeyen referans veri setinde bulunan binaların sayısıdır. Bu binalar yöntemin belirleyemediği binalardır.

4.3. Elde edilen Bulgular

4.3.1. Algısal Gruplama İle Bina Tespiti

Hough dönüşümü ile kenar görüntüsünden bina sınırları çizgi segmentleri belirlendikten sonra, çizgi segmentleri algısal gruplama kuralları ile (Bölüm 3.2.3) gruplanmak suretiyle bina sınırları çıkarılmıştır. Geliştirilen yöntem ile test alanlarında belirlenen bina sınırlarının piksel tabanlı ve nesne tabanlı doğruluk analizleri sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Algısal gruplama ile elde edilen sonuçların piksel tabanlı doğruluk yüzdeleri

Test Alanları	TP	FN	FP	BDCom.	BDCor.	QPct.
	(piksel)	(piksel)	(piksel)	(%)	(%)	(%)
TA_1	9142	1470	28	86.15	99.69	85.92
TA_2	9310	1932	202	82.81	97.87	81.35
TA_3	19346	4633	307	80.68	98.44	79.66
TA_4	35761	10243	906	77.73	97.53	76.23
TA_5	14643	1111	760	92.95	95.07	88.67
TA_6	10267	930	294	91.69	97.27	89.35
TA_7	19628	2848	329	87.33	98.35	86.07
TA_8	38589	21464	775	64.26	98.03	63.44
TA_9	21097	3609	2803	85.39	88.27	76.70
TA_10	31912	9722	964	76.65	97.07	74.91
Ortalama	-	-	-	82.56	96.75	80.23

Çizelge 4.4. Algısal gruplama ile elde edilen sonuçların nesne tabanlı doğruluk yüzdeleri

Test Alanları	TP	FN	FP	BDCom.	BDCor.	QPct.
	(adet)	(adet)	(adet)	(%)	(%)	(%)
TA_1	3	0	0	100	100	100
TA_2	4	0	0	100	100	100
TA_3	5	1	0	83.33	100	83.33
TA_4	6	2	0	75.00	100	75.00
TA_5	6	0	0	100	100	100
TA_6	2	1	0	68	100	68
TA_7	5	0	0	100	100	100
TA_8	29	25	0	86.21	100	86.21
TA_9	10	0	0	100	100	100
TA_10	17	0	0	100	100	100
Ortalama	-	-	-	84	100	84

Geliştirilen algısal gruplama kuralları ile TA_1 – TA_10 test alanlarında belirlenen bina sınırları sırasıyla Şekil 4.3a-j’ de gösterilmiştir.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

Şekil 4.3. (a – j) Algısal gruptama kuralları ile TA_1 – TA_10 test alanlarında belirlenen bina sınırları

[61] tarafından yapılan çalışmaya göre, bina belirleme sistemleri %70'in üzerinde Bina Belirleme Bütünlüğü (BDCom) ve %85'in üzerinde Bina Belirleme Doğruluğu (BDCor) sağlamalıdır. Bu çalışmada algısal gruptama kuralları ile elde edilen hem piksel-tabanlı hem de nesne-tabanlı doğruluk analizleri sonuçları (Çizelgeler 4.3 ve 4.4), [61] tarafından önerilen doğruluk değerlerinin üzerindedir. Piksel-tabanlı ve nesne-tabanlı ortalama doğruluk değerleri BDCom için sırasıyla %82.56 ve %96.75 ve BDCor için sırasıyla %84.00 ve %100 olarak hesaplanmıştır.

Piksel-tabanlı doğruluk analizleri sonuçlarına göre (Çizelge 4.3), çalışmada kullanılan test alanlarından yalnız bir tanesinde (TA_8) BDCom doğruluk oranı %70' in altında hesaplanmış olup elde edilen sonuçlar geliştirilen algısal gruptama yönteminin geçerliliğini göstermektedir. Test alanları içerisinde TA_5, %92.95 BDCom değeri ile en yüksek doğruluk oranına sahiptir. Tüm test alanları için hesaplanan BDCor değerleri %85'in üzerindedir.

Nesne tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.4), on adet test alanından dokuzunda BDCom doğruluk oranı %70'in üzerinde hesaplanmış ve altı test alanı için ise doğruluk oranı %100 olarak bulunmuştur. Yalnız bir test alanı (TA_6) için hesaplanan BDCom doğruluk oranı (%68) önerilen değerin (%70) çok az altında kalmıştır. Nesne-tabanlı doğruluk analizi yöntemine göre tüm test alanları için BDCor değerleri %100 olarak

hesaplanmıştır. Nesne tabanlı doğruluk analizi sonuçları değerlendirilirken, bina sınırları bir sonraki adımda tohum alanı olarak düşünüldüğü için, yalnız bina sınırlarının bulunup bulunmadığına bakılmıştır.

Doğruluk değerinin düşük olduğu test alanları incelendiklerinde, çatılan bazı bina sınırlarının dışarıya taşıdığı (örn. TA_4), bazılarının gerçek bina sınırının içerisinde kaldığı, (örn. TA_10) ve bazılarının hiç belirlenemediği (örn. TA_8) görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı, bu test alanlarında düşük doğruluk oranı elde edilmiştir. Dolayısıyla, bina çıkarımı doğruluk oranını arttırmak için çatılan bina sınırları içinde alan tabanlı tohum bölge büyütme algoritması ile segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.3.2 Algısal Gruplama ve Tohum Bölge Büyütme İle Bina Tespiti

Geliştirilen algısal gruplama yöntemi ile Hough çizgi segmentlerinden çatılan bina sınırlarının bazı binalarda dışarı taşıdığı, bazılarında ise bina üzerinde kaldığı görülmüştür. Dolayısıyla, algısal gruplama yöntemi ile çatılan bina sınırları içinde oluşturulan tampon sınırlar içinde kalan bölgeler başlangıç alanları olarak alınmak suretiyle, tohum bölge büyütme segmentasyonu yapılmıştır. Tampon bölge oluşturulması için “*Matlab*” yazılımı, tohum bölge büyütme algoritması ile alan tabanlı segmentasyon için ise “*SAGA*” yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemi ile elde edilen sonuçların piksel tabanlı ve nesne tabanlı doğruluk analizi değerleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 ’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi ile elde edilen sonuçların piksel tabanlı doğruluk analizi değerleri

Test Alanları	TP (piksel)	FN (piksel)	FP (piksel)	BDCom. (%)	BDCor. (%)	QPct. (%)
TA_1	9995	652	77	93.87	99.23	93.20
TA_2	10593	1176	197	90.00	98.17	88.52
TA_3	22542	1913	549	92.17	97.62	90.15
TA_4	38118	8545	2744	81.68	93.28	77.15
TA_5	14701	1053	207	93.31	98.41	91.93
TA_6	10967	887	406	92.51	96.43	89.45
TA_7	20161	2444	258	89.18	98.73	88.18
TA_8	47602	12622	2283	79.04	95.42	76.15
TA_9	23195	1958	2125	92.21	91.60	85.03
TA_10	39312	2414	2170	94.21	94.76	89.55
Ortalama	-	-	-	89.82	96.37	86.93

Çizelge 4.6. Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemi ile elde edilen sonuçların nesne tabanlı doğruluk analizi değerleri

Test Alanları	TP (adet)	FN (adet)	FP (adet)	BDCom. (%)	BDCor. (%)	QPct. (%)
TA_1	3	0	0	100	100	100
TA_2	4	0	0	100	100	100
TA_3	5	1	0	83.33	100	83.33
TA_4	6	2	0	75.00	100	75.00
TA_5	6	0	0	100	100	100
TA_6	2	1	0	68	100	68
TA_7	5	0	0	100	100	100
TA_8	29	25	0	86.21	100	86.21
TA_9	10	0	0	100	100	100
TA_10	17	0	0	100	100	100
Ortalama	-	-	-	84	100	84

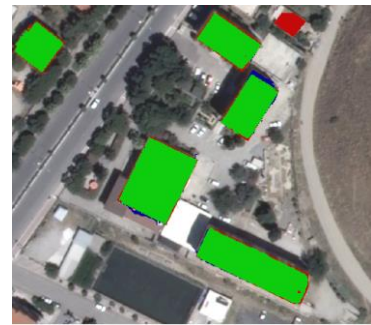
Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemin test alanlarında (TA_1 – TA_10) belirlediği binalar sırasıyla Şekil 4.4a-j’ de gösterilmiştir. Şekillerdeki yeşil alanlar sonuç ve referans veri setlerinde çakışan alanları (TP), mavi alanlar yöntemin bulduğu ancak gerçekte bina olmayan alanları (FP), kırmızı alanlar ise yöntemin bulamadığı bina alanlarını (FN) göstermektedir.



a)



b)



c)



Şekil 4.4. (a – j) Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemi ile test alanlarında (TA_1 – TA_10) tespit edilen binalar

Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme segmentasyonu yöntemi piksel tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre ortalama BDCor ve BDCor doğruluk oranları sırasıyla %89.82 ve %96.37 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, [61] tarafından önerilen doğruluk oranlarının oldukça üzerindedir. Tüm test alanları için BDCor değerleri [61] tarafından önerilen %70'in üzerinde, BDCor değerleri de önerilen %85'in üzerindedir. Test alanları arasında TA_10 test alanı %94.21 ile en yüksek doğruluğa sahiptir.

Nesne tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre, ortalama BDCor ve BDCor doğruluk oranları sırasıyla, %84 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Yine bu sonuçlar [61] tarafından önerilen doğruluk oranlarının üzerindedir. TA_6 dışındaki tüm test alanları için hesaplanan doğruluk oranları önerilen %70 değerin üzerindedir. Altı test alanı için BDCor doğruluk oranı %100 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tüm test alanları için BDCor değerleri %100 olarak hesaplanmıştır. Nesne tabanlı doğruluk analizi sonuçları, bina sınırlarından elde edilen tohum alanlarına göre binalar bulunduğu için değişmemiştir.

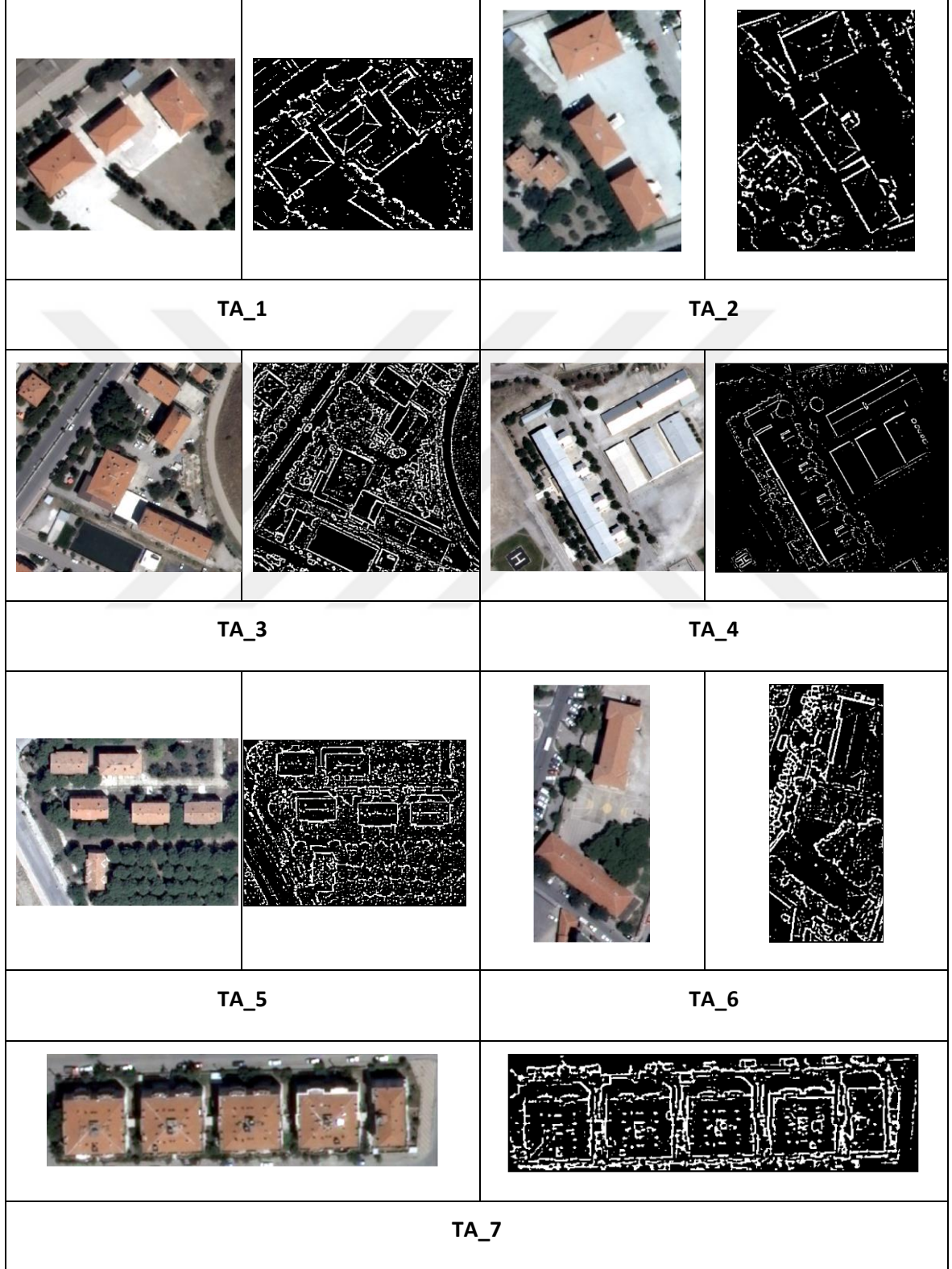
Piksel tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre, kombine yöntemin doğruluk değerlerinde algısal gruplama yöntemi doğruluk değerlerine göre belirgin oranda artış olduğu görülmektedir. Artış oranı BDCor için %7.26 ve QPct için %6.71 dir. Her iki yöntem için hesaplanan BDCor doğruluk değerlerinde ise farklılık yoktur. Kombine yöntemin sonuçlarının algısal gruplama yöntemi sonuçlarına göre daha yüksek doğrulukta olmasının nedeni, kenar tabanlı algısal gruplama yönteminin binalardaki hatalı tespitlerini alan tabanlı tohum bölge büyütme segmentasyonun gidermiş olmasıdır. Çünkü tohum bölge büyütme segmentasyonu algoritması, çatılan bina sınırları içerisinde seçilen piksel grubundan başlayarak komşu benzer pikselleri gruba eklemek suretiyle alan büyütme ve büyüme işlemi bina sınırlarına kadar ilerlemektedir.

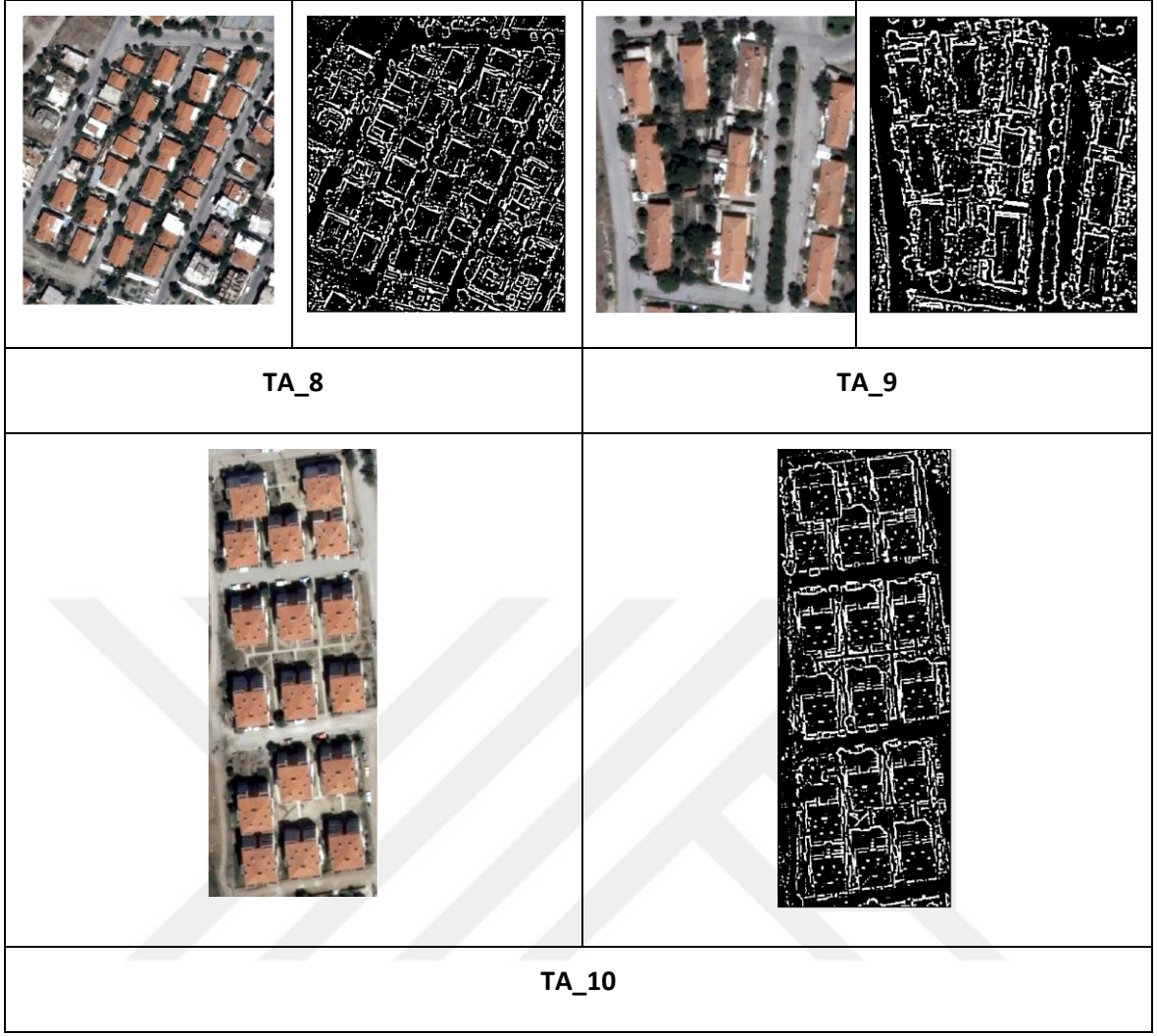
Elde edilen doğruluk yüzdeleri incelendiğinde, tüm test alanları için, kombine yöntemin doğruluk oranlarını arttırdığı görülmektedir. Özellikle çalışma kapsamında yöntemin uygulandığı test alanlarından büyük ve bina sayısı fazla olanlarda bu durum daha belirgindir. Dolayısıyla, geliştirilen kombine yöntemin geçerliliği ve uygulanabilirliği görülmektedir.

4.3.3 Bina alanları kenarlarının çıkarılması

Renkli ortofotodan bina sınırlarının belirlenmesi için gerekli olan kenar belirleme işlemi için DoG algoritması kullanılmıştır. DoG algoritmasının hesaplanmasında kullanılan eşitliklerde (Eşitlikler 3.3 ve 3.4) yer alan pencere boyutu ve σ önemli parametrelerdir. σ değerlerinin seçiminde σ_2 değerinin σ_1 değerine göre daha küçük bir değer seçilmesine dikkat edilmiştir. Yapılan denemeler neticesinde, çalışmada kullanılan tüm test alanları için en uygun değerler σ_1 için 8 ve σ_2 için 2 olarak belirlenmiştir. σ_1 ve σ_2 için daha büyük değerler kullanıldığında görüntülerde daha fazla bulanıklaşma olduğu ve keskin kenar sınırlarının yok olduğu görülmüştür. Yine yapılan denemeler sonucunda, çalışmada kullanılan test alanları için, en uygun pencere boyutu 5x5 olarak tespit edilmiştir. Bina kenarları piksellerinin doğru belirlenmesi, Hough dönüşümü ile çıkarılacak bina kenarları çizgi segmentlerini olumlu

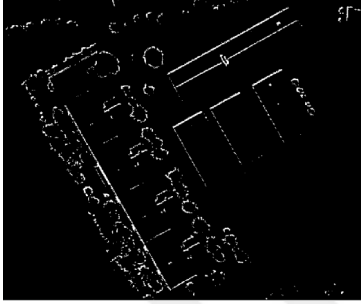
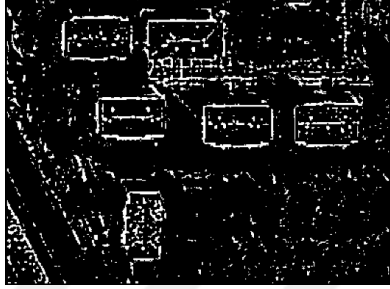
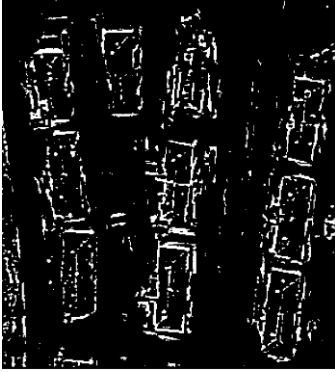
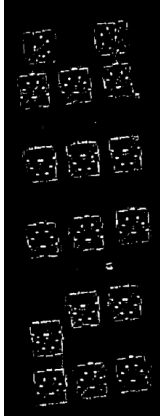
yönde etkileyecektir. Test alanlarına (TA_1 – TA_10) ait DoG kenar belirleme işlemi sonuçları Şekil 4.5’ te gösterilmiştir.





Şekil 4.5. Test alanlarına ait renkli ortofoto ve DoG algoritması ile elde edilen kenar görüntüsü

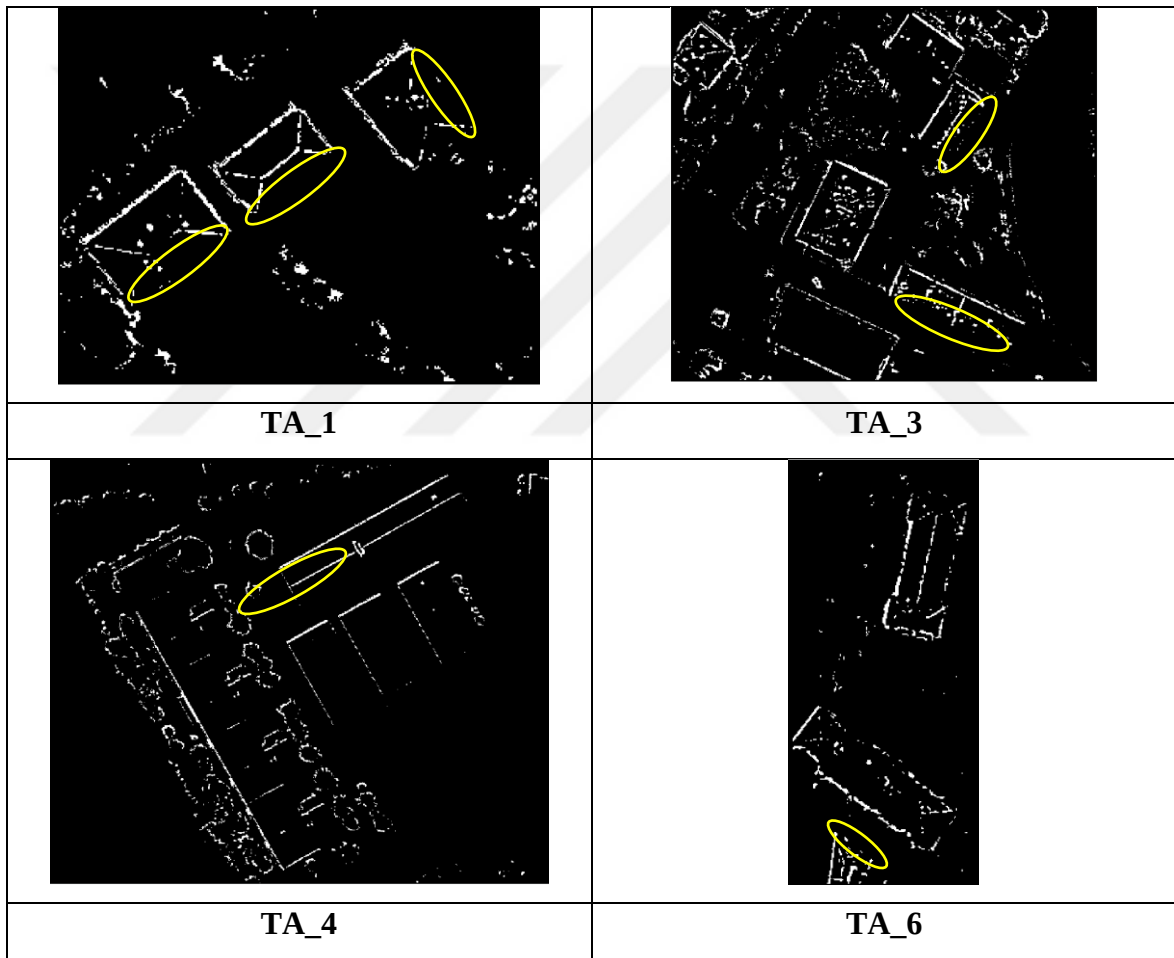
VARI bitki indeksi ile bitki örtüsü alanlarını bulmak için kullanılan eşik değeri alandaki bitki örtüsü yoğunluğuna göre değişmektedir. nSYM verisinden yükseklik değeri ataması yapılırken LiDAR verisi ve ortofotonun koordinat eşleme işleminin doğru yapılmış olması gerekir. Aksi halde iki veri seti arasında kayıklık olacağı için çakışma dışı alanlarda yanlış yükseklik değeri ataması sonuçları ortaya çıkacaktır. Test alanları için yükseklik değeri ataması sonucu elde edilen sonuç kenar görüntüler Şekil 4.6' da gösterilmiştir.

		
TA_1	TA_2	TA_3
		
TA_4	TA_5	TA_6
		
TA_7		
		
TA_8	TA_9	TA_10

Şekil 4.6. Test alanlarına ait yükseklik değeri ataması sonucu elde edilen kenar görüntüleri

Yükseklik değeri ataması sonucunda bazı binaların kenarlarının eşik değeri altında kaldığı ve dolayısıyla elimine edildiği görülmüştür. Örneğin, Şekil 4.7’de gösterilen TA_1, TA_3, TA_4 ve TA_6’ ya ait kenar görüntülerinde sarı elips ile gösterilen bina kenarları pikselleri

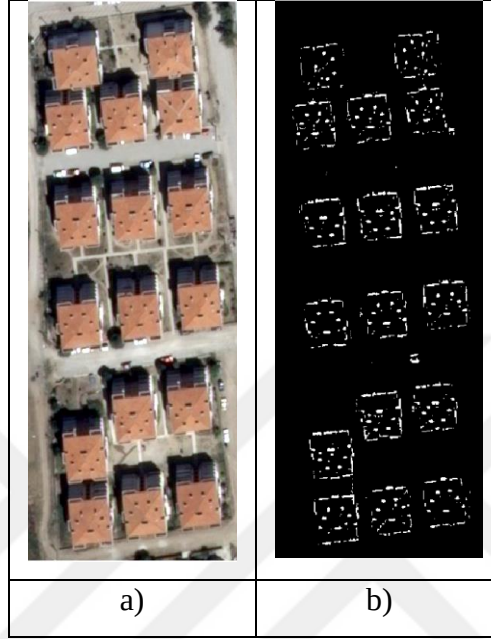
eşik değeri altında kalmıştır. Geliştirilen yöntemde bina sınırlarının belirlenmesi ve çatımı için binaya ait birbirine dik en az iki kenarın olması gerektiği varsayımı yapılmıştır. Bu sebeple geliştirilen yöntem, TA_1 ve TA_3 kenar görüntülerinden bina sınırlarını başarılı bir şekilde belirleyebilmiştir. Ancak, TA_4'te bir binaya ait sadece paralel iki kenar elde edildiği için, bu binaya ait bina sınırları belirlenememiştir. Bu durumdaki bina sınırlarının tespiti ve çatımı için yöntemin ek gruplama kuralları ile daha da geliştirilmesi gerekir. Yine, TA_6' da bir binaya ait yalnız bir kenar belirlenebildiği için, bu binaya ait bina sınırları belirlenememiş ve dolayısıyla bina çatımı gerçekleştirilememiştir. Bu çalışmada tüm test alanları için yükseklik eşik değeri 2.5 m olarak alınmıştır.



Şekil 4.7. TA_1, TA_3, TA_4 ve TA_6' ya ait yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüleri

Hough dönüşümü ile bina kenarları çizgi segmentlerinin doğru çıkarılabilmesi için kenar görüntüsünde sadece bina kenarları piksellerinin bulunması önemlidir. Uygulanan Hough dönüşümü, bitki örtüsü alanların ve bina dışındaki diğer nesnelerin neredeyse tümüyle

elimine edildiği kenar görüntülerinde daha doğru sonuçlar vermiştir (Şekil 4.8). Diğer taraftan, yoğun ve 2.5 m’den yüksek bitkilerin bulunduğu test alanlarında kenar görüntülerinin bina harici pikselleri de içerdiği ve dolayısıyla sonuçları etkilediği görülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Bitki yoğunluğunun düşük olduğu TA_10 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) kenar görüntüsü



Şekil 4.9. Yoğun ve yüksek (2.5 m’den fazla) bitki örtüsüne sahip TA_5 test alanına ait a) renkli ortofoto, b) kenar görüntüsü

4.3.4. Bina sınırları çizgi segmentlerinin çıkarılması

Bina sınırlarını oluşturan çizgi segmentlerin çıkarılmasında, Hough dönüşümü DoG algoritması ile elde edilen kenar görüntüsüne uygulanmıştır. Hough dönüşümü için kullanılan parametreler ve parametre değerleri Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

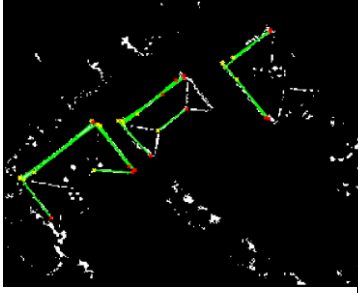
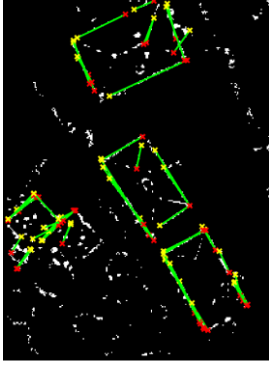
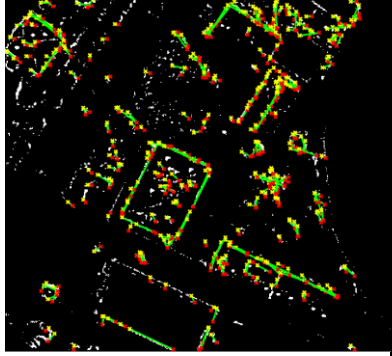
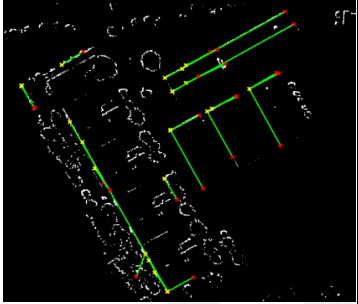
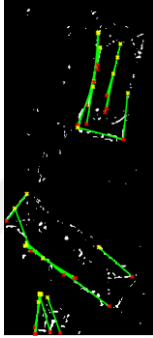
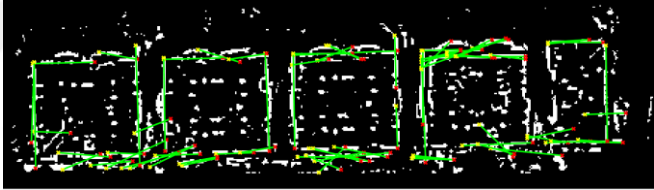
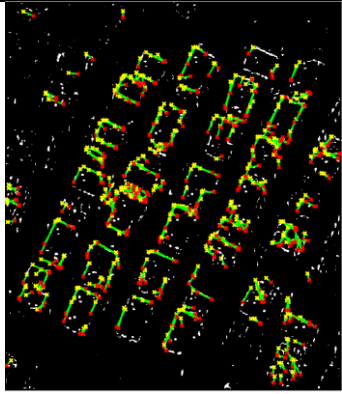
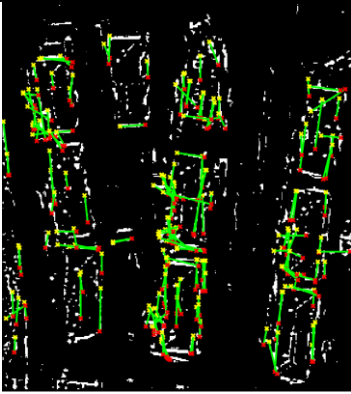
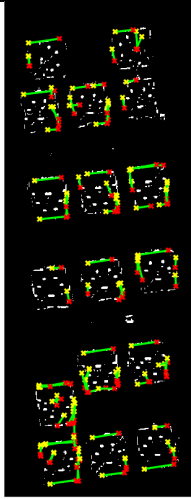
Çizelge 4.7. Test alanlarında kullanılan Hough dönüşümü parametreleri değerleri

Test Alanları	θ (theta) ve r (rho) çözünürlüğü	Min. çizgi uzunluğu (Minlength)	Tepe noktası sayılacak min. değer (houghpeaks)	İki çizgi segmenti arasındaki mesafe (fillgap)
TA_1	1	30	50	5
TA_2	1	15	60	8
TA_3	1	15	80	12
TA_4	1	40	80	10
TA_5	1	20	80	5
TA_6	1	30	50	5
TA_7	1	15	80	8
TA_8	1	10	200	8
TA_9	1	15	100	7
TA_10	1	12	100	8

Hough dönüşümü ile çıkarılan çizgi segmentlerin doğruluğu kenar görüntüsüne ve parametre değerlerinin doğru seçimine bağlıdır. Bu çalışmada, θ ve r çözünürlüğü parametreleri değerleri 1 olarak alınmıştır. Diğer parametre değerlerinin seçimi için test alanları üzerinden denemeler yapılmıştır. Bu parametre değerlerinin seçiminde aşağıdaki kriterlere dikkat edilmiştir:

- Test alanındaki binaların boyutları
- Tepe noktası sayılacak minimum değer için test alanının büyüklüğü
- İki çizgi segmenti arasındaki mesafe değeri için aynı kenar üzerindeki boşluk

Hough dönüşümü ile test alanlarında belirlenen çizgi segmentleri Şekil 4.10’ da gösterilmiştir.

		
TA_1	TA_2	TA_3
		
TA_4	TA_5	TA_6
		
TA_7		
		
TA_8	TA_9	TA_10

Şekil 4.10. Hough dönüşümü ile test alanlarında elde edilen çizgi segmentleri

Test alanları için parametre değerlerinin seçiminde, alanın büyüklüğüne, alandaki binaların boyutlarına ve elde edilen kenar görüntüsünde aynı kenar üzerindeki boşlukların büyüklüklerine dikkat edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Hough dönüşümü ile elde edilen çizgi segmentlerinin başarılı bir şekilde çıkarıldığı görülmüştür. Minimum çizgi uzunluğu parametresi test alanındaki binaların boyutlarına göre belirlenmiştir. Bu değer büyük bir değer seçilmesi durumunda, elimine edilmesi beklenen binalara ait olmayan çizgi segmentlerin yanı sıra bazı bina çizgi segmentlerin de elimine edildiği görülmüştür.

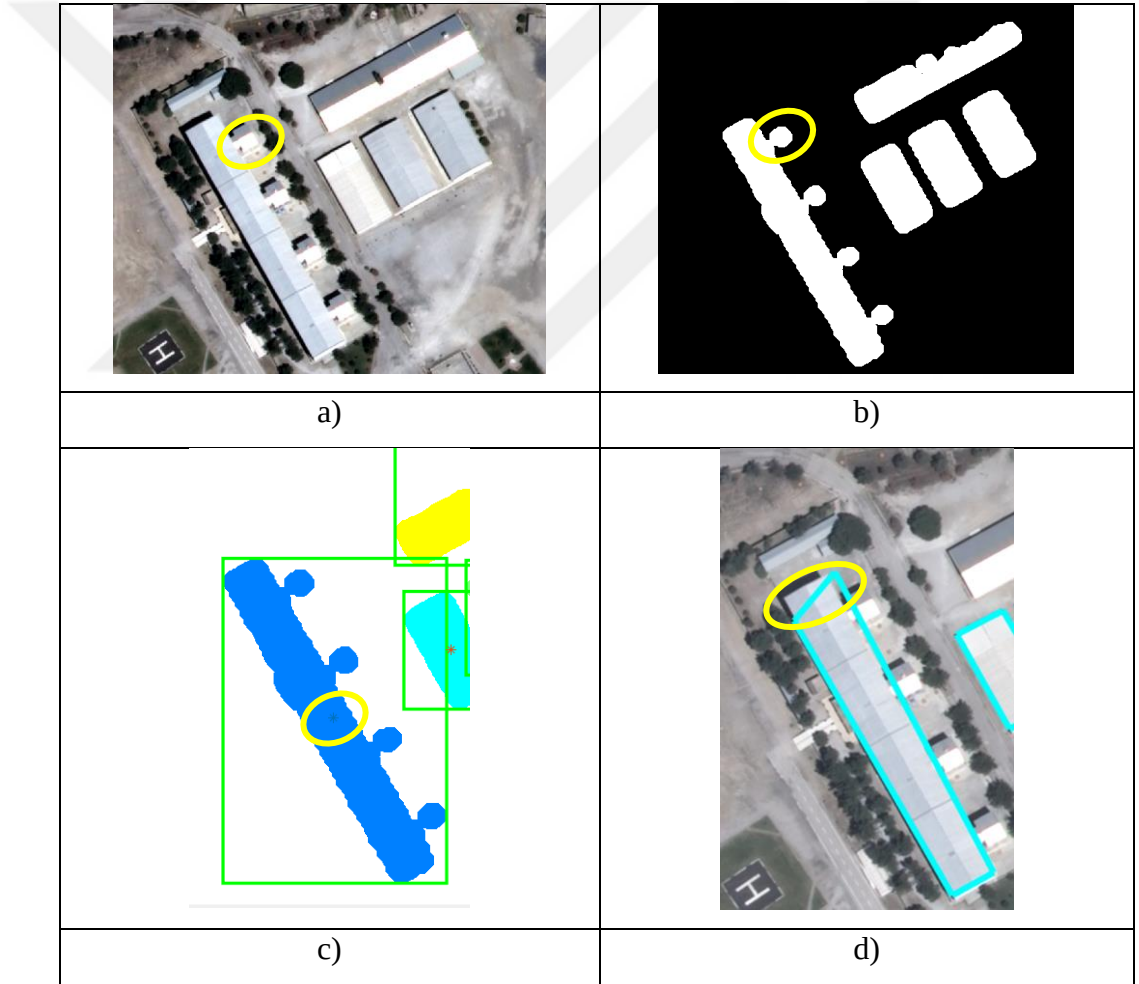
Şekil 4.10' da gösterilen TA_8 'deki gibi büyük ve bina sayısı fazla olan alanlar için, tepe noktası sayılacak minimum değer diğer alanlara göre daha büyük seçilmesi gerekir. Aksi halde bina kenarlarını temsil eden çizgi segmentleri doğru belirlenemez. Ayrıca, iki çizgi segmenti arasındaki mesafe değeri olması gereken değerden daha büyük bir değer olursa, birbirine yakın konumdaki binalara ait kenarlar tek kenar olarak belirlenebilir.

Algısal gruplama kurallarında kullanılan bazı parametre değerlerinin belirlenmesinde, her bir test alanı için, alandaki bina sayısı, bina boyutu ve binaların birbirlerine olan konumları göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde çizgi segmentlerinin başarılı bir şekilde çıkarıldığı görülmüştür.

Bina alanları merkezlerinin bulunması (Bölüm 3.2.3, Algoritma 1) bina sınırlarını oluşturan çizgi segmentlerinin belirlenmesi için önemlidir. Bir binaya ait en uzun kenarın (L_{E_1}) belirlenmesinde, çizgi segmentlerinin orta noktalarının bina alanları merkezlerine olan mesafesine bakılmıştır. Bu yüzden L_{E_1} kenarının belirlenmesinde gerekli mesafe eşik değeri parametresinin seçimi önemlidir. Örneğin, TA_8 test alanında olduğu gibi birbirine yakın konumlu binaların bulunduğu test alanlarında bu parametre değerinin olması gereken değerden büyük seçilmesi halinde, herhangi bir binaya ait L_{E_1} kenarı yakın konumdaki başka bir binanın kenarı olarak belirlenebilir. Mesafe eşik değeri parametresi belirlenirken, bina alanı merkezinin o binaya ait olan çizgi segmentlerinin orta noktaları ile aralarındaki uzaklığın dikkate alınması gerekir. En uzun kenara dik en uzun kenarın (L_{E_2}) belirlenmesinde çizgi segmentleri arasındaki açı değerine (α) bakılmış olup bu değer için $80^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$ aralığı kullanılmıştır. α değeri için minimum 80° ve maximum 100° olarak tanımlanması L_{E_2} kenarlarının doğru belirlenmesinde etkili olmuştur.

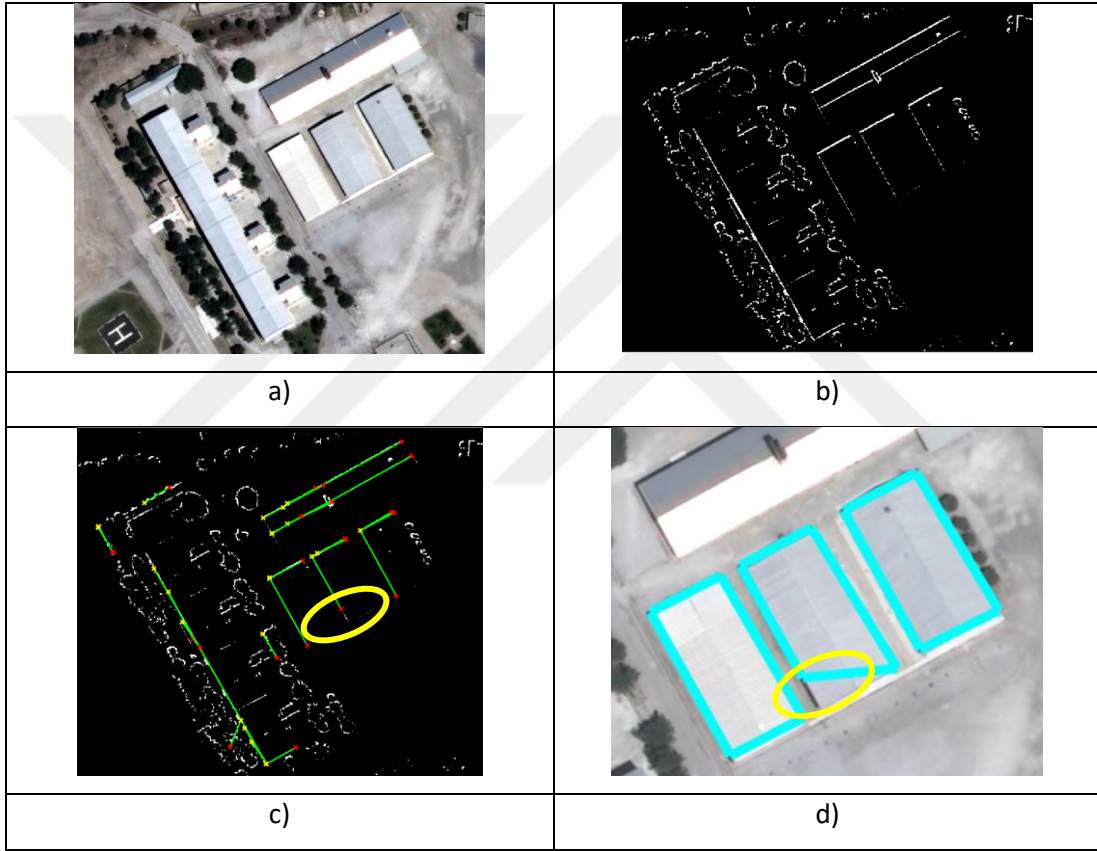
Algısal gruplama kuralları ile çatılan bina sınırlarının bazı binalarda bina dışına taşıdığı, bazılarında sınırların tam tamamlanamadığı ve bazı binaların sınırlarının ise çıkarılamadığı görülmüştür. Bu durumların ana nedenleri araştırılmış olup aşağıdaki gibidir:

- Çatılan bina sınırlarının bina dışına taşmasında, hesaplanan bina alanları merkez nokta (x_m, y_m) koordinatlarının etkisi olduğu görülmüştür. Şöyle ki, karmaşık şekilli binalarda morfolojik filtreleme işlemi bina alanlarındaki çıkıntıları gideremeyebilmektedir (Şekil 4.11b). Dolayısıyla, bu çıkıntılar ağırlık merkezi olarak hesaplanan bina alanı merkez noktalarının konumlarına etki etmektedir (Şekil 4.11c). Kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) ve merkez nokta (x_m, y_m) arasındaki mesafe (d) kadar, algısal gruplamanın simetrik ilkesine göre, ters yönde gidildiğinde, hesaplanan yeni köşe noktası (x_{NP}, y_{NP}) bina alanının dışında oluşabilmektedir ve dolayısıyla bu durum çatılan bina sınırlarının bina dışına taşmasına neden olmaktadır (Şekil 4.11d).



Şekil 4.11. a) TA_4 test alanına ait ortofoto görüntüsü, b) morfolojik operatörler ile bulunan bina alanları, c) bina alanı merkez noktası, d) binadan taşan bina sınırı

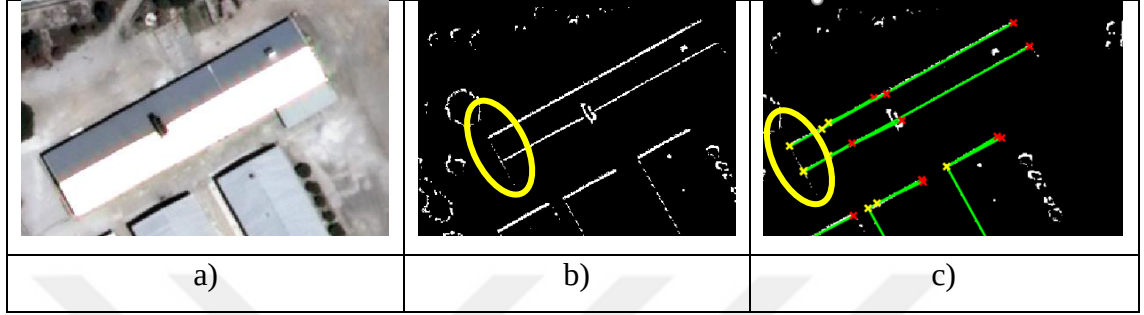
- Çatılan bina sınırlarında bazı kenarların bina içinde kalmasına, bir diğer deyişle bina sınırının tamamlanamamasına, DoG filtresi ile belirlenen kenar görüntüsü (Şekil 4.12b) neden olmaktadır. DoG kenar çıkarma algoritmasının bazı bina kenarları piksellerini bütün bir şekilde çıkaramamış olması ya da aralıklı çıkarmış olmasından dolayı, Hough dönüşümü kısa çizgi segmentleri oluşturmuştur (Şekil 4.12c). Ayrıca, ilk maddede açıklandığı gibi hesaplanan yeni köşe noktasının (x_{NP}, y_{NP}) bina içinde bir yere düşmesi durumunda bu köşe noktasında birleşen sınırlar da bina içinde oluşmakta ve dolayısıyla gerçek sınırları temsil etmemektedir (Şekil 4.12d).



Şekil 4.12. a) TA_4 test alanına ait ortofoto görüntüsü, b) DoG filtresi ile elde edilen kenar görüntüsü, c) bina kenarı piksellerinin boşluklu olmasından dolayı Hough dönüşümü ile elde edilen kısa çizgi segmenti (sarı elips ile gösterilen), d) yanlış çatılan bina sınırı

- Bazı binalarda sınırların hiç çıkarılamaması durumu ise birkaç nedene bağlıdır. Nedenlerden biri ortofoto görüntülerinin çekimi sırasında bazı eğimli bina çatılarında, çatı yüzeyleri spektral yansımaları arasında önemli farklılık meydana gelmiştir. Bu duruma örnek olarak Şekil 4.13a’da gösterilen binanın iki yüzeyinin spektral yansımaları çok farklıdır. Dolayısıyla, bu durumdaki

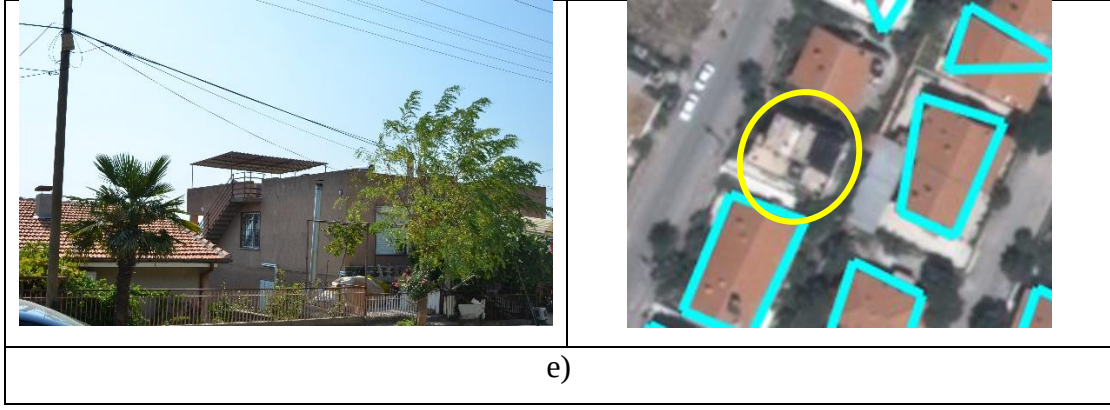
binalarda DoG kenar bulma algoritması σ parametre değerin dikkatli seçilmesi gerekir. Ayrıca, ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisi arasındaki bir miktar kayıklıktan dolayı kenar görüntüsünün bazı piksellerine yanlış yükseklik değeri atanması yapılmıştır (Şekil 4.13b). Dolayısıyla, bu da sonuç olarak Hough dönüşümü ile çizgi segmenti çıkarımını etkilemiştir (Şekil 4.13c).



Şekil 4.13. a) Eğimli bina çatılarında çekim anında oluşan yansımaya, b) DoG kenar görüntüsüne yükseklik atanması sonucu elde edilen sonuç kenar görüntüsü, c) Hough dönüşümü ile çıkarılamayan çizgi segmenti

- Yöntemin bina çıkarımında başarısız olduğu durumlardan bir diğeri farklı özellikteki ve yükseklikteki bitişik nizam konumunda olan binalardır. Örneğin, Şekil 4.14a ve Şekil 4.14b’de gösterilen TA_8’de yer alan bitişik nizamlı iki binanın çatı yansımaları değerleri arasında fark vardır. Bu çatılardaki renk farkının nedeni farklı çatı malzemesi kullanılmış olmasıdır. Bu tür bitişik nizamdaki binalardan birinin çıkarılamadığı görülmüştür. Ayrıca bu tür binalarda ağaçların bina üzerine sarkan kısımlarındaki kenarlar da belirlenememiştir (Şekil 4.14c ve Şekil 14.d).
- Farklı özelliklere sahip bitişik nizamlı binalardan beton çatılı olan ve üzerine ek kat çıkılarak çatının kalan kısmı teras olarak kullanılan binaların sınırlarının çıkarılmasında da problemlerle karşılaşmıştır. Binaların üzerindeki ek yapılar kenar görüntüsünde karmaşıklığa neden olmuştur (Şekil 4.14e).



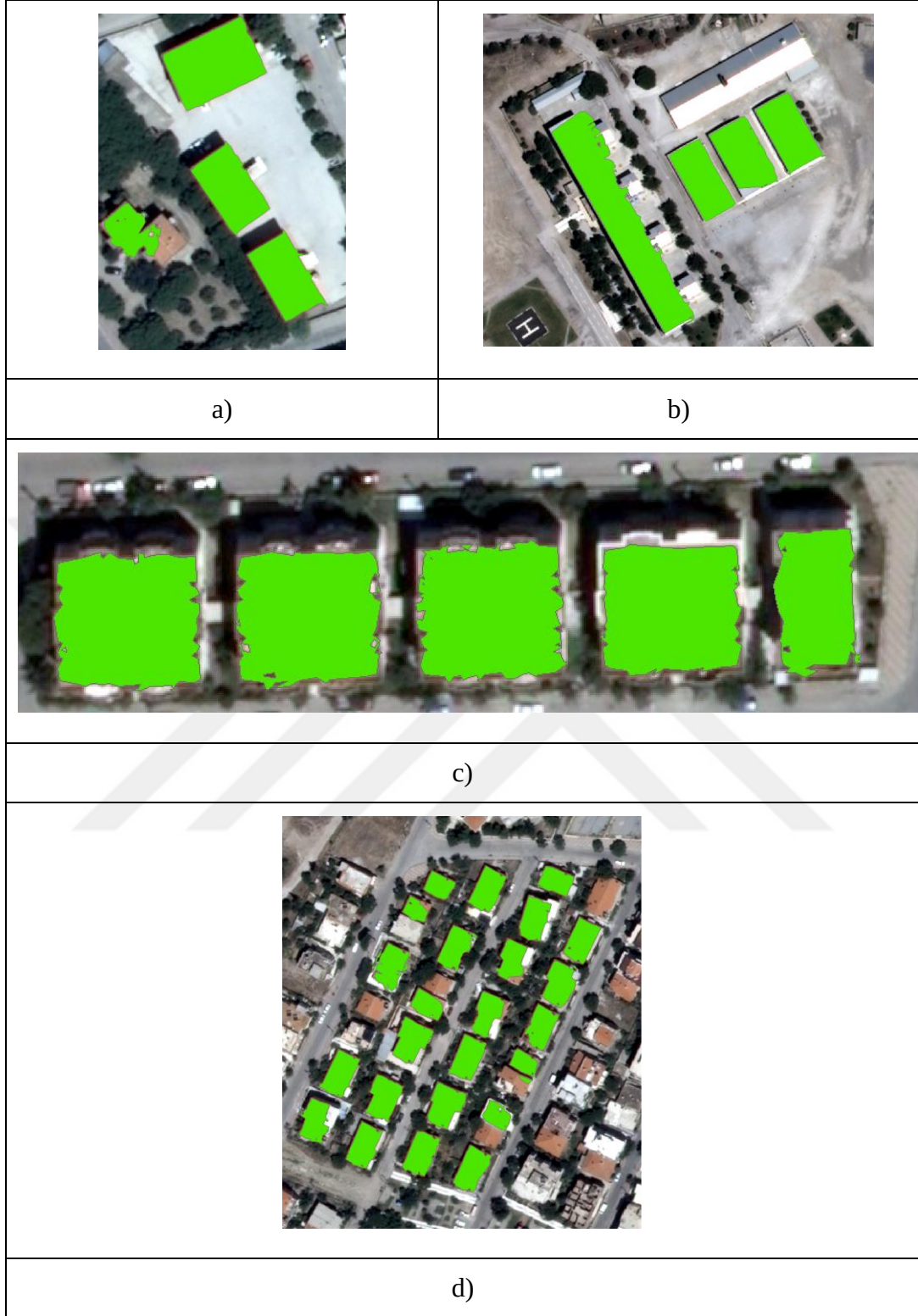


Şekil 4.14. a) Farklı yükseklik ve özelliklere sahip bitişik nizamlı binalar ve belirlenemeyen bina sınırı, b) bitişik nizamlı binalardan birinde üzerine çıkılan ek kat ve belirlenemeyen bina sınırı, c, d) Ağacın bina üzerine sarkması e) bina üzerindeki ek kat

Geliştirilen kombine algısal gruptama ve Tohum Bölge Büyütme segmentasyonu yöntemi ile elde edilen binalar incelendiğinde, TA_3 ve TA_5' e ait binaların doğru bir şekilde elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.15). Kombine yöntem tüm test alanlarında başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak, TA_2, TA_4, TA_7 ve TA_8'de yer alan bazı binalarda segmentasyon üstü (over segmentation) bazılarında ise segmentasyon altı (under segmentation) sonuçlar olduğu görülmüştür. Bu duruma örnek binalar Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Kombine yöntem ile belirlenen binalar: a) TA_3 test alanında belirlenen binalar, b) TA_5 test alanında belirlenen binalar



Şekil 4.16. a) TA_2 test alanında belirlenen binalar, b) TA_4 test alanında belirlenen binalar, c) TA_7 test alanında belirlenen binalar, d) TA_8 test alanında belirlenen binalar

Kombine yöntem sonucunda belirlenen bazı binalarda eksik ya da fazla binaların elde edilmesinin nedenleri aşağıdaki gibidir:

- Bitişik binalarda bina sınırının tek bina üzerinde elde edilmesi ve buna bağlı olarak tohum bölge büyütme segmentasyonu tohum alanının tek bina üzerinde alınması,
- Dikdörtgen bina şeklinin yanında karmaşık şekilli çıkıntı olan binalarda, çıkıntı binaya ait bina sınırlarının belirlenememesi,
- Ortofoto çekim sırasında binaların çevresine göre farklı spektral yansıma değerine sahip olması ve buna bağlı olarak piksel değerlerinin farklı olması,
- Tohum Bölge Büyütme algoritmasında tüm test alanları için aynı benzerlik eşik değerinin kullanılmış olması.

Yukarıdaki nedenler dikkate alınarak, test alanları incelendiğinde bina sınırları doğru olarak çıkarılan binalarda, tohum bölge büyütme segmentasyonu sonucunda binaların başarılı bir şekilde belirlendiği görülmüştür. Doğru bina sınırlarına göre oluşturulan tohum alanlarından başlayıp, komşu piksellerin benzer olanlarının birleştirilmesi ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik bina sınırları çıkarımı ve geriçatımı için bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde öncelikle her iki veri arasındaki kayıklık koordinat eşleme (registration) işlemi ile giderilmiştir. Sonra, LiDAR verisinden gürültünün giderilmesi, zemin ve zemin üstü noktaların ayrılması, SAM, SYM ve nSYM bantlarının oluşturulması işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. nSYM verisine bir eşik değeri uygulanarak eşiklenmiş nSYM oluşturulmuştur. Bu işlemlerin ardından, renkli ortofoto verisinden VARI bitki indeksi bandı oluşturularak bitki örtüsü alanları bulunmuştur. Eşiklenmiş nSYM verisinden bitki alanları elimine edilmiş ve sonrasında morfolojik iyileştirme yapılarak bina alanları elde edilmiştir.

Bina sınırlarının çıkarılması ve geriçatımı için önce ortofoto görüntüsünden DoG kenar bulma algoritması ile kenarlar çıkarılmıştır. Elde edilen kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile binalara ait çizgi segmentleri çıkarılmış ve bu tez çalışmasında geliştirilen algısal gruptama kuralları ile elde edilen çizgi segmentlerinden bina sınırlarının geri çatımı yapılmıştır. Geri çatılan bina sınırları bir sonraki alan tabanlı segmentasyon işlemi için tohum alanların oluşturulması için kullanılmıştır. Bunun için, çatılan bina sınırları içerisinde tampon alanlar oluşturulmuş ve bu alanlar tohum bölge büyütme segmentasyonu algoritması başlangıç alanları olarak kullanılmıştır. Segmentasyon işlemi için açık kaynak SAGA yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen kombine yöntem, kenar tabanlı Hough dönüşümü, algısal gruptama kuralları ve alan tabanlı tohum bölge büyütme segmentasyonu algoritmasını entegre etmektedir. Yöntemin test alanlarında belirlediği binalar ile ortofoto görüntüsünden elle çizilerek oluşturulan referans veriler karşılaştırılmak suretiyle doğruluk analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yöntemin geçerliliğini ve kullanılabilirliğini göstermektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, bina alanlarının bulunması, algısal gruptama ile bina sınırlarının çıkarılması ve geriçatımı ve kombine algısal gruptama ve tohum bölge büyütme yöntemi ile binaların tespiti olmak üzere üç kısımda değerlendirilmiştir.

Bina alanlarının bulunması ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- “*Lastools*” yazılımında SAM ve SYM oluşturmak için, LiDAR verisi filtrelenmiş, zemin ve zemin üstü olarak sınıflandırılmıştır. Filtreleme işleminin yüksek

doğrulukla yapılabilmesi için “*step size*” parametre değerin dikkatli ve doğru seçilmesi gerekir. Bu parametre değerin belirlenmesinde test alanlarındaki en büyük nesnenin, örneğin bu çalışmada binaların boyutunun, dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla, geliştirilen yöntemin farklı bir alanda uygulanması halinde bu parametre değerin seçiminde alandaki bina boyutları dikkate alınmalıdır.

- LiDAR nokta bulutu verisi doğrudan nesnelerin yüksekliklerini içerdiğinden bu veriden yüksek doğruluklu SYM, SAM ve nSYM üretmek hızlı ve kolaydır.
- Bu çalışmada kullanılan ortofoto yakın kızıl ötesi (YKÖ) bant içermeyip yalnız K, Y ve M bantlardan oluşmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, bitki örtüsü alanların belirlenmesinde yalnız K, Y, M bantların kullanımının yeterli olduğu görülmüştür.
- LiDAR nokta bulutu verisinden oluşturulan ve sonrasında eşiklenen nSYM verisinden bitki örtüsü alanların maskelenmesinden sonra hala bazı bitki örtüsü alanlara ait kalıntıların bulunduğu görülmüştür. LiDAR nokta bulutu verisinin çekim zamanından dolayı yapraksız olan ağaçlarda dönüş (return) alınamaması bu durumun nedenlerinden birisi olabilir. Bu şekildeki bitki örtüsü kalıntıları morfolojik iyileştirme işlemiyle giderilmiştir.
- Yöntemde önce bina alanların bulunması, her bir bina için bina sınırlarının çıkarılması işleminin gerçekleştirileceği arama alanını azaltmıştır. Dolayısıyla bir binaya ait sınırların çatımında yakın konumdaki bir başka binanın sınırları ile karışma belli düzeyde engellemiştir.
- Yöntemde bina alanlarının bulunması işleminde önemli rolü olmasından dolayı nSYM verisinin yüksek doğrulukta olması gerekir.
- LiDAR nokta bulutu verisinin yükseklik özelliği ile ortofotonun spektral ve konumsal özelliklerinin birlikte kullanımının sonuçların doğruluğuna olumlu etkisi olmuştur.

Algısal gruplama ile bina sınırlarının çıkarılması ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- DoG kenar çıkarma algoritmasının etkili bir algoritma olması, elde edilen kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile çıkarılan çizgi segmentleri sonuçlarını ve dolayısıyla çatılan bina sınırlarını etkilemektedir. Ayrıca, ortofotonun kalitesi de

kenar belirleme performansında ve çizgi segmentlerinin çıkarılmasında önemli etkenler arasında yer almaktadır.

- Kenar görüntüsünde bazı binalar için bir ya da iki kenara ait kenar pikselleri uygulanan eşik değerin altında kalmıştır. Yöntemde bina sınırlarının çatımı için birbirine dik iki kenarın tespiti gerekmektedir. Bu tespitin gerçekleşmemesi halinde ve örneğin, birbirine paralel iki kenarın tespit edilmesi durumunda yöntem başarısız olmaktadır. Dolayısıyla, bu gibi durumlarda bina sınırlarının çatımı için yöntemin ek kurallar ile geliştirilmesi gerekmektedir.
- Hough dönüşümü parametreleri θ ve r çözünürlüğü, minimum çizgi uzunluğu, tepe noktası sayılacak minimum değer ve iki çizgi segmenti arasındaki mesafe parametreleri elde edilen çizgi segmentleri sonucunu etkilemektedir. Yapılan denemeler sonucunda θ ve r çözünürlük değeri bu çalışmada kullanılan veri için “1” olarak belirlenmiştir. Daha büyük çözünürlük değerleri seçildiğinde bazı binalara ait çizgi segmentlerinin yok olduğu görülmüştür. Yine, minimum çizgi uzunluğu parametresi değerinin büyük seçilmesi durumunda istenmeyen bazı çizgi segmentlerinin yok olduğu, istenen bazı çizgi segmentlerinin de kaybolduğu görülmüştür. İki çizgi segmenti arasındaki mesafe parametresinin seçiminde aynı kenara ait pikseller arasındaki boşluk dikkate alınmıştır. Mesafe parametresi değeri küçük olursa aynı kenar üzerindeki çizgilerin birleştirilemediği görülmüştür.
- Yoğun ve belirlenen yükseklik eşik değerinden (2.5 m) yüksek bitkilerin olduğu alanlarda bina dışı kenar piksellerini de içeren bir karmaşık kenar görüntüsü elde edilmektedir. Dolayısıyla, uygulanan Hough dönüşümü bina dışı kenar piksellerinden de çizgi segmentleri çıkarmaktadır. Bu da bina sınırları çatımı sonucunu olumsuz etkilemektedir.
- DoG kenar bulma algoritmasının bina kenarı piksellerin tamamını çıkaramaması ve boşluklu çıkarması sonucunda Hough dönüşümü kısa çizgi segmentleri oluşturmaktadır. Elde edilen bu kısa çizgi segmentleri geliştirilen kurallara göre birleştirildiğinde bazı bina sınırlarının doğru çatılamadığı görülmüştür. Ayrıca, x_{NP}, y_{NP} köşe noktasının bina alanının içine düştüğü durumlarda bu köşe noktasında birleşen sınırlar bina içerisinde oluşmaktadır. Diğer taraftan x_{NP}, y_{NP} köşe noktası bina alanının dışına düştüğünde ise binaların bu köşe noktasında birleşen sınırları bina dışına taşmaktadır. Bundan dolayı, çatılan bina sınırları gerçek sınırlardan farklı konumda oluşmakta ve doğruluk düşmektedir.

- Çalışmada kullanılan tüm test alanları için, geliştirilen algısal gruplama kuralları ile çatılan bina sınırlarının piksel tabanlı doğruluk analizi ortalama bina belirleme bütünlüğü (BDCom) %82.56, ortalama bina belirleme doğruluğu (BDCor) %96.75 ve ortalama kalite yüzdesi (QPct) %80.23 olarak hesaplanmıştır. Nesne tabanlı doğruluk analizi ortalama BDCom %84, ortalama BDCor %100 ve ortalama QPct %84 olarak hesaplanmıştır.

Kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme algoritması ile tespit edilen binalar ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- Çalışmada kullanılan tüm test alanları için, geliştirilen kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme algoritması piksel tabanlı doğruluk analizi ortalama bina belirleme bütünlüğü (BDCom) %89.82, ortalama bina belirleme doğruluğu (BDCor) %96.37 ve ortalama kalite yüzdesi (QPct) %86.93 olarak hesaplanmıştır. Nesne tabanlı doğruluk analizi ortalama BDCom %84, ortalama BDCor %100 ve ortalama QPct. %84 olarak hesaplanmıştır.
- Kombine yöntem ile tespit edilen binaların doğruluk oranında, yalnız algısal gruplama yöntemine göre belirgin oranda artış olmuştur. Kombine yöntemde algısal gruplama yöntemi sonrasında alan tabanlı segmentasyon gerçekleştirilmesi bu duruma katkı sağlamaktadır. Piksel tabanlı doğruluk analizi sonuçlarına göre artış oranı ortalama BDCom için %8 ve ortalama QPct için %7 olmuştur.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, geliştirilen kombine algısal gruplama ve tohum bölge büyütme yöntemin günümüzde binaların güncel ve hızlı bir şekilde belirlenmesine önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bina tespitinin alana özgü parametre değerleri kullanılarak yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Chen, L., Zhao, S., Han, W., Li, Y., Building detection in an urban area using lidar data and QuickBird imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 33(16), 5135-5148, **2012**.
- [2] Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M., Fraser, C.S., Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(5), 457-467, **2010**.
- [3] Shahrabi, B.A., *Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings through Computer Vision and Digital Photogrammetry*, Doktora Tezi, Stuttgart University in Institute of Photogrammetry, Almanya, **2000**.
- [4] Uzar, M., Yastıklı, N., Lidar Ve Hava Fotoğraflarının Füzyonu İle Otomatik Bina Çıkarımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, **2011**.
- [5] Sohn, G. and Dowman I., Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62, 43-63, **2007**.
- [6] Cheng, L., Gong, J., Chen, X., Han, P., Building boundary extraction from high resolution imagery and LIDAR data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37(Part B3), 693-698, **2008**.
- [7] Hyuk Lee, D., Mu Lee, K., Lee, S., Fusion of LiDAR and Imagery for Reliable Building Extraction., *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 74(2), 215-225, **2008**.
- [8] Yalçın, A., *Effect of Shadow in Building Detection and Building Boundary Detection*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, **2008**.
- [9] Güdücü, H.V., *Building Detection from Satellite Images Using Shadow and Color Information*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, **2008**.
- [10] Shaker, I., Abd-Elrahman, A., K.Abdel-Gawad, A., A Sherief, M., *Building Extraction from High Resolution Space Images in High Density Residential Areas in the Great Cairo Region*. Vol. 3., 781-791, **2011**.
- [11] Turker, M., and Koc-San, D., Building extraction from high-resolution optical spaceborne images using the integration of support vector machine (SVM) classification, Hough transformation and perceptual grouping. *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*. 34, 58-69, **2015**.
- [12] Miliaresis, G. and Kokkas, N., *Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LIDAR DEMs*. Vol. 33., 1076-1087, **2007**.
- [13] Wang, Z. and Schenk, T., Building Extraction and Reconstruction from Lidar Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(PartB3), 958-964, **2010**.
- [14] Tsenga, Y., Hungb, H., Extraction Of Building Boundary Lines From Airborne Lidar Point Clouds, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLI-B3, 957-962, **2016**.

- [15] Ramiya, A.M., Nidamanuri, R.R and Krishnan, R., Segmentation based building detection approach from LiDAR point cloud, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 71-77, **2017**.
- [16] Haala, N. and Brenner, C., Extraction of buildings and trees in urban environments, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), 130-137, **1999**.
- [17] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LIDAR data and multi-spectral images for building detection, *Information Fusion*, Vol. 6, 283-300, **2005**.
- [18] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., 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(2), 135-149, **2007**.
- [19] Demir, N., Poli, D., and Baltsavias, E., Extraction of buildings and trees using images and LiDAR data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(PartB4), 313-318, **2008**.
- [20] Vu, T.T., Yamazaki, F., and Matsuoka, M., Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4), 281-289, **2009**.
- [21] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., Zingaretti, P., Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*., 65(1), 123-133, **2010**.
- [22] Hermosilla, T., Ruiz, L.A., Recio, J.A., Estornell, J., Evaluation of Automatic Building Detection Approaches Combining High Resolution Images and LiDAR Data, *Remote Sensing*. 3(6), 1188-1210, **2011**.
- [23] Meng, X., Currit, N., Wang, L., Yang, X., Detect Residential Buildings from Lidar and Aerial Photographs through Object-Oriented Land-Use Classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 78, 35-44, **2012**.
- [24] Grigillo, D. and Kanjir, U., Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, I-3, 215-220, **2012**.
- [25] Gilani, S.A.N., Awrangjeb, M. and Lu, G., Fusion of LiDAR data and multispectral imagery for effective building detection based on graph and connected component analysis, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-3/W2, 65-72, **2015**.
- [26] Bratsolis, E.C., E & Tsenoglou, Theo & Vassilas, Nikolaos., Automated Building Block Extraction and Building Density Classification Using Aerial Imagery and LiDAR Data, *Journal of Earth Science and Engineering*, 6, 1-9, **2016**.
- [27] Siddiqui, F.U., Teng, S., Awrangjeb, M., Lu, G., A Robust Gradient Based Method for Building Extraction from LiDAR and Photogrammetric Imagery, *Sensors (Basel, Switzerland)*. 16(7), 1110, **2016**.
- [28] Mustafa Dihkan, Kars, F., Preifer, N., Çok Yüksek Çözünürlüklü Görüntü Ve Lidar Verileri Üzerinden Dvmsiniflandırma Algoritması Ile Otomatik Bina Çıkarma, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi BilgiSistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), Zonguldak, **2012**.

- [29] Lastools lasnoise, lasground, lasinfo, las2dem, <https://rapidlasso.com/lastools/>, (Kasım, **2018**)
- [30] Axelsson, P., DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, 23(B4), 110–117, **2000**.
- [31] “DSM/DTMFiltering.”, http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDARSchool2008/Downloads/DTM_pfeifer.pdf., (Kasım, **2018**)
- [32] Sithole, G. and G. Vosselman, *ISPRS comparison of filters*, ISPRS Report, **2003**.
- [33] Meng, X., Currit, N., and Zhao, K., Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues, *Remote Sensing*. 2(3),833-860, **2010**.
- [34] Zhang, J. and Lin, X., Filtering airborne LiDAR data by embedding smoothness-constrained segmentation in progressive TIN densification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 81, 44-59, **2013**.
- [35] Lastools Filtreleme Parametreleri, <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/lastools/guidelines-2>, (Kasım, **2018**)
- [36] Briese, C., *Extraction of Digital Terrain Model*, Airborne and Terrestrial Laser Scanning, H.-G.M. George Vosselman, Editor. **2010**.
- [37] San, K.D., *Approaches For Automatic Urban Building Extraction And Updating From High Resolution Satellite Imagery*, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2009**.
- [38] Cawse-Nicholson, K., Bandyopadhyay, M., and Aardt, J.V., Classification and Extraction of Trees and Buildings from Urban Scenes Using Discrete Return LiDAR and Aerial Color Imagery, *The International Society for Optical Engineering*, Vol. 8731, **2013**.
- [39] VARI bitki indeksi, <https://www.precisionmapper.com/algorithms/visible-atmospheric-resistant-index>, (Kasım, **2018**)
- [40] Morfolojik Görüntü İşleme, www.caglargul.com/2015/09/morfolojik-goruntu-isleme.html, (Eylül, **2018**)
- [41] Shih, F.Y., *Image processing and mathematical morphology: Fundamental and applications*, CRC Press, **2009**.
- [42] Mutneja, V., Methods of Image Edge Detection: A Review, *J Electr Electron Syst*, Vol. 04, 150, **2015**.
- [43] Rashmi, Kumar, M., and Saxena, R., Algorithm and Technique on Various Edge Detection : A Survey, *Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ)*, 4, 65-75, **2013**.
- [44] Ishida, T., Itagaki, S., Sasaki, Y., Ando, H., Application of wavelet transform for extracting edges of paddy fields from remotely sensed images. *International Journal of Remote Sensing*. 25(2), 347-357, **2004**.
- [45] KYM gri seviyeli renk dönüşümü, <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html>, (Ekim, **2018**)
- [46] Difference of Gaussian filtresi, <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/gradient/node9.html>, (Eylül, **2018**)

- [47] Difference of Gaussian <https://docs.gimp.org/2.8/da/plugin-dog.html>, (Eylül, **2018**)
- [48] Pratt, W.K., *Edge Detection*, Digital Image Processing, **2002**.
- [49] Hough, P.V.C., *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*, U.S, Patent, **1962**.
- [50] Nixon, M., Aguado, A., *Feature Extraction & Image Processing*, Elsevier, Second ed. **2008**.
- [51] Rock, I. and Palmer, S., The Legacy of Gestalt Psychology, *Scientific American*. 263(6), 84-91, **1990**.
- [52] Moore, P. and Fitz, C., Gestalt Theory and Instructional Design. *Journal of Technical Writing and Communication*. 23(2), 137-157, **1993**.
- [53] Çizgi-çizgi kesişimi, <http://mathworld.wolfram.com/Line-LineIntersection.html>, (Eylül, **2018**)
- [54] Kamdi, S. and Krishna, R. K, *Image Segmentation and Region Growing Algorithm*. International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) , 2(1), 103-107, **2012**.
- [55] Bechtel, B., Ringeler, A., and Böhner, J., Segmentation For Object Extraction Of Trees Using Matlab And Saga, *SAGA-Seconds Out, Hamburger Beiträge Zur Physischen Geographie Und Landschaftsökologie. Univ. Hamburg, Inst. für Geographie* , 1-10, **2008**.
- [56] Tohum Bölge Büyütme Algoritması Kütüphanesi, http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.1.4/imagery_segmentation_3.html, (Eylül, **2018**)
- [57] Tohum Bölge Büyütme Algoritması, http://wiki.awf.forst.unigoettingen.de/wiki/index.php/Region_Growing_Segmentation, (Eylül, **2018**)
- [58] Kayı, A., Erdoğan, M., Eker, O., Optech Ha-500 Ve Riegl Lms-Q1560 Ile Gerçekleştirilen Lidar Test Sonuçları. *Harita Dergisi*. 153, 42-46, **2015**.
- [59] Li, E., Robust Rooftop Extraction From Visible Band Images Using Higher Order CRF, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(8), 4483-4495, **2015**.
- [60] Xiao, J., Gerke, M., and Vosselman, G., Building extraction from oblique airborne imagery based on robust façade detection, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 68, 56-68, **2012**.
- [61] Mayer, H., Hinz, S., Bacher, U. , Baltsavias, E., A Test of Automatic Road Extraction Approaches, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(3), 209-214, **2006**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Gizem KARAKAŞ
Doğum Yeri : Ayvalık
Medeni Hali : Evli
E-posta : gizem.karakas@hacettepe.edu.tr
Adresi : Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü Geomatik Mühendisliği
Çankaya/Ankara

Eğitim

Lise : Ayvalık Süper Lisesi, 2008
Lisans : Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, Kocaeli, 2012
Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Kocaeli, 2013
Yüksek Lisans : -
Doktora : -

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce (İyi)

İş Deneyimi

Veri Operatörü : İşlem GIS Şirketi- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇDP Projesi
Temmuz-Aralık 2013
Araştırma Görevlisi : Atatürk Üniversitesi 2013-2016
Hacettepe Üniversitesi 2016-

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 17/12/2018

Tez Başlığı: LİDAR NOKTA BULUTU VERİSİ VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ORTOFOTOLAR KULLANILARAK BİNA ÇIKARIMI İÇİN BİR YAKLAŞIM

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 79 sayfalık kısmına ilişkin, 17/12/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.


17/12/2018

Adı Soyadı: GİZEM KARAKAŞ
Öğrenci No: N15222271
Anabilim Dalı: GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ
Programı: GEOMATİK
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof.Dr. Mustafa TÜRKER

