

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİZGE KESME YÖNTEMİ İLE LİDAR VE ÇOK BANTLI  
GÖRÜNTÜLER ÜZERİNDE BİNA BULMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İsmail KARAKAYA**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İmam Şamil YETİK**

**AĞUSTOS 2017**



Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 131211029 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İsmail KARAKAYA**'nın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**Çizge Kesme Yöntemi ile Lidar ve Çok Bantlı Görüntüler Üzerinde Bina Bulma**" başlıklı tezi **18.08.2017** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. İmam Şamil YETİK** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Bülent TAVLI (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Doç. Dr. Asım Egemen YILMAZ** .....  
Ankara Üniversitesi



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



**İsmail KARAKAYA**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇİZGE KESME YÖNTEMİ İLE LİDAR VE ÇOK BANTLI GÖRÜNTÜLER ÜZERİNDE BİNA BULMA

İsmail KARAKAYA

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İmam Şamil YETİK

Tarih: Ağustos 2017

Günümüz dünyasında binaların yeryüzüne dağılımının tespiti uzaktan algılama uzmanlarının yoğun çalıştığı bir alandır. Çünkü bina dağılımı sosyal, ekonomik ve askeri açıdan önem arz etmektedir. Dolayısıyla bina dağılımının hava fotoğraflarından otomatik tespit edilmesi son 25 yılda birçok bilim insanının uğraştığı bir alan olmaktadır. Bu alana olan ilginin artmasında yüksek çözünürlüklü, maliyeti düşük görüntülerin hızlı bir şekilde elde edilmesinin önemli bir etkisi vardır. Bu alanda yapılan çalışmaların artmasına neden olan diğer bir etmen ise yüksek çözünürlüklü LİDAR verisinin yaygınlaşmasıdır. LİDAR yükseklik verisi sayesinde araziye ait olmayan ve çevresine göre yüksekte kalan nesnelere ait piksel grupları kolayca elde edilebilmektedir. Bu çalışmada LİDAR verisi kullanılarak bina tespiti için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bina bulma algoritması için başlangıç noktaları morfolojik işlemler ile elde edilmiştir. Bu piksel gruplarını kullanarak hesaplanan geodezik mesafesi ile bina olabilecek alanların bilgisini içeren bir harita elde edilmektedir. Bu

harita kullanılarak çizge kesme sınıflandırma yöntemi ile bina olan ve olmayan yerler elde edilmiştir. Uygulanan yöntem yardımı ile tespit edilen bina performans sonuçlarının günümüzde uygulanan diğer bina bulma yöntemlerine göre daha başarılı olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LİDAR, Çok bantlı görüntü, Çizge kesme, Bina bulma, Geodezik mesafe





## **ABSTRACT**

Master of Science of Philosophy

### **BUILDING DETECTION ON LIDAR AND MULTISPECTRAL IMAGES WITH GRAPH-CUT METHOD**

İsmail KARAKAYA

TOBB University of Economics and Technology

Institute of Natural and Applied Sciences

Electric and Electronics Engineering Science Programme

Supervisor: Assoc. Prof. İmam Şamil YETİK

Date: August 2017

In today's world, determining the boundaries of buildings on earth is a field where remote sensing specialists work extensively because of social, economic and military significance. The automatic detection of the distribution of land and buildings from aerial photographs has become a field that has been challenged by many scientists in the last 25 years. The increase in interest in this area is due to abilities of achieving high resolution, low cost images quickly. Another factor that leads to increased work on this area is the widespread use of high-resolution LIDAR data. Due to the LIDAR height data, pixel groups belonging to objects other than land can easily be obtained due to the elevation information. In this study, new methods for building boundary detection are developed using Lidar data. The seed points for the building detection

algorithm are obtained by morphological operations. By using these pixel groups, a map is obtained that contains the computed geodesic distance and the areas that are candidates for buildings. By using this map, classification of buildings and non-building areas are obtained by using the graph-cut method. It has been experimentally demonstrated that the performance of the proposed method is more successful than the other building methods applied today.

**Keywords:** LIDAR, Multispectral image, Graph-cut, Building detection, Geodesic distance



## TEŞEKKÜR

Öncelikle benim her zaman yanımda olan, desteğini, sevgisini ve yardımını esirgemeyen değerli eőim Őule Özer KARAKAYA'ya, alıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam İmam Şamil YETİK'e, tez çalıőmalarım boyunca bana büyük yardımları olan değerli arkadaşım Orkun ÖZTÜRK'e, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen her daim yanımda olan Tufan ALBAYRAK'a, tatlılıkları ve őirinlikleri ile beni mutlu eden güzel yüzlü yeğenlerimiz Hüseyin Cahit ÖZER, Beren ÖZER ve Yusuf KOÇ'a ve beni bu günlere getiren desteklerini hiç esirgemeyen değerli aileme teőekkürü borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivasyon .....	1
1.2 LİDAR verisi .....	4
1.2.1 Sayısal arazi modeli (SAM) ve Sayısal yükseklik modeli (SYM) .....	4
<b>2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>7</b>
<b>3. ÇİZGE KESME YÖNTEMİ İLE BİNA BULMA ALGORİTMASI</b> .....	<b>17</b>
3.1 Bina Başlangıç Noktaları Bulma .....	17
3.1.1 Temel morfolojik işlemler .....	18
3.1.2 Gri seviyeli morfolojik İşlemler .....	20
3.1.3 Gölge bulma .....	29
3.1.4 NDVI hesaplama .....	30
3.2 Uzaklık Haritasının Hesaplanması .....	30
3.2.1 Dijkstra metodu .....	31
3.3 Ön Plan/Arka Plan Belirleme .....	32
3.4 Çizge Kesme Eniyilemesi .....	32
<b>4. ALGORİTMA SONUÇLARI</b> .....	<b>35</b>
4.1 Kullanılan Veri Setleri .....	36
4.1.1 Vaihingen test verisi .....	36
4.1.2 Potsdam test verisi .....	37
4.2 Vaihingen Test Sonuçları .....	38
4.2.1 Kullanılan görüntü ve LİDAR örnekleri .....	41
4.2.2 Gölge ve NDVI sonuçları .....	42

4.2.3 Bina başlangıç noktalarını içeren maskeleri.....	44
4.2.4 Mesafe haritası sonuçları.....	46
4.2.5 Ön plan/arka plan maskesi sonuçları.....	46
4.2.6 Önerilen bina bulma algoritması sonuçları.....	48
4.3 Potsdam Test Sonuçları .....	50
4.3.1 Kullanılan görüntü ve LİDAR örnekleri .....	51
4.3.2 Gölge ve NDVI sonuçları.....	52
4.3.3 Bina başlangıç noktalarını içeren maskeleri.....	54
4.3.4 Mesafe haritası sonuçları.....	56
4.3.5 Ön plan/arka plan maskesi sonuçları.....	56
4.3.6 Önerilen bina bulma algoritması sonuçları.....	58
4.4 Test Sonuçları Değerlendirme .....	60
4.4.1 Çalışma süreleri ve uygulama bilgileri.....	60
4.4.2 Performans sonuçları.....	63
<b>5. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA.....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>73</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 :LİDAR verisi toplanması.....	5
Şekil 1.2 :LİDAR ışını örneği.....	5
Şekil 1.3 :SYM ve SAM.....	6
Şekil 2.1 :Rottensteiner ile arkadaşlarının geliştirdiği yöntem.....	9
Şekil 2.2 :Uzar ve Yastıklı'nın önerdiği yöntem.....	10
Şekil 2.3 :Uzar ve Yastıklı'nın önerdiği sınıflandırma yöntemi.....	11
Şekil 2.4 :Chen ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.....	12
Şekil 2.5 :Awrangjeb ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.....	13
Şekil 2.6 :Gilani ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.....	14
Şekil 2.7 :Siddiqui ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.....	15
Şekil 3.1 :Bu çalışmada önerilen yöntem.....	17
Şekil 3.2 :Bina başlangıç noktalarını bulma yöntemi.....	18
Şekil 3.3 :Örnek yapısal eleman.....	20
Şekil 3.4 :Örnek arazi yükseklik değişimi.....	25
Şekil 3.5 :Sayısal yükseklik modelinin 2B gösterimi.....	26
Şekil 3.6 :Gölge bulma yöntemi.....	30
Şekil 3.7 :Çizge kesimi için oluşturulan çizge [49].....	33
Şekil 3.8 :Maksimum akışı sağlayan yolun gösterimi [1].....	34
Şekil 4.1 :Algoritmanın tüm adımlarının görsel sonuçları.....	35
Şekil 4.2 :Vaihingen test verisi ayrılmış çalışma bölgeleri.....	36
Şekil 4.3 :Vaihingen ayrılmış verilerinin listesi ve bilgileri.....	37
Şekil 4.4 :Potsdam test verisi ayrılmış çalışma bölgeleri.....	38
Şekil 4.5 :Potsdam ayrılmış verilerinin listesi ve bilgileri.....	39
Şekil 4.6 :Örnek Vaihingen test alanları görüntüleri.....	41
Şekil 4.7 :Örnek Vaihingen test alanları LİDAR verileri.....	41
Şekil 4.8 :Vaihingen Test Alanı 1 NDVI ve gölge sonuçları maskesi.....	42

Şekil 4.9 :Vaihingen test alanı 3 NDVI ve gölge sonuçları .....	42
Şekil 4.10 :Vaihingen test alanı 17 NDVI ve gölge sonuçları .....	43
Şekil 4.11 :Vaihingen test alanı 21 NDVI ve gölge sonuçları .....	43
Şekil 4.12 :Vaihingen test alanı 1 bina başlangıç noktaları.....	44
Şekil 4.13 :Vaihingen test alanı 3 bina başlangıç noktaları.....	44
Şekil 4.14 : Vaihingen test alanı 17 bina başlangıç noktaları.....	45
Şekil 4.15 : Vaihingen test alanı 21 bina başlangıç noktaları ı .....	45
Şekil 4.16 :Örnek alanların mesafe haritaları .....	46
Şekil 4.17 :Vaihingen test alanı 1 ön plan /arka plan sonuçları .....	46
Şekil 4.18 :Vaihingen test alanı 3 ön plan /arka plan sonuçları .....	47
Şekil 4.19 :Vaihingen test alanı 17 ön plan /arka plan sonuçları .....	47
Şekil 4.20 :Vaihingen test alanı 21 ön plan /arka plan sonuçları .....	48
Şekil 4.21 :Vaihingen test alanı 1 algoritma sonucu .....	48
Şekil 4.22 :Vaihingen test alanı 3 algoritma sonucu .....	49
Şekil 4.23 :Vaihingen test alanı 17 algoritma sonucu .....	49
Şekil 4.24 :Vaihingen test alanı 21 algoritma sonucu .....	50
Şekil 4.25 :Örnek Potsdam test alanları görüntüleri.....	51
Şekil 4.26 :Örnek Potsdam test alanları LİDAR verileri.....	51
Şekil 4.27 :Potsdam test alanı 3_11 NDVI ve gölge sonuçları .....	52
Şekil 4.28 :Potsdam test alanı 5_11 NDVI ve gölge sonuçları .....	52
Şekil 4.29 :Potsdam test alanı 6_11 NDVI ve gölge sonuçları .....	53
Şekil 4.30 :Potsdam test alanı 6_12 NDVI ve gölge sonuçları .....	53
Şekil 4.31 :Potsdam test alanı 3_11 bina başlangıç noktaları .....	54
Şekil 4.32 :Potsdam test alanı 5_11 bina başlangıç noktaları .....	54
Şekil 4.33 :Potsdam test alanı 6_11 bina başlangıç noktaları .....	55
Şekil 4.34 :Potsdam test alanı 6_12 bina başlangıç noktaları .....	55
Şekil 4.35 :Örnek alanların mesafe haritaları .....	56
Şekil 4.36 :Potsdam test alanı 3_11 ön plan /arka plan sonuçları .....	56
Şekil 4.37 :Potsdam test alanı 5_11 ön plan /arka plan sonuçları .....	57
Şekil 4.38 :Potsdam test alanı 6_11 ön plan /arka plan sonuçları .....	57
Şekil 4.29 :Potsdam test alanı 6_12 ön plan /arka plan sonuçları .....	58
Şekil 4.40 :Potsdam test alanı 3_11 algoritma sonucu .....	58



Şekil 4.41 :Potsdam test alanı 5_11 algoritma sonucu.....	59
Şekil 4.42 :Potsdam test alanı 6_11 algoritma sonucu.....	59
Şekil 4.43 :Potsdam test alanı 6_12 algoritma sonucu.....	60



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 :Vaihingen verisi uçuş parametreleri.....	36
Çizelge 4.2 :Vaihingen algoritma adımları ortalama süreleri .....	61
Çizelge 4.3 :Potsdam algoritma adımları ortalama süreleri .....	61
Çizelge 4.4 :Vaihingen verisinin çalışma süreleri.....	62
Çizelge 4.5 :Potsdam verilerinin çalışma süreleri .....	63
Çizelge 4.6 :Farklı çalışmalar ile performans karşılaştırılması.....	64
Çizelge 4.7 :Vaihingen performans sonuçları .....	65
Çizelge 4.8 :Potsdam performans sonuçları .....	66



## KISALTMALAR

<b>FPGA</b>	:Field Programmable Gate Array (ing)
<b>GLCM</b>	:Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi
<b>GPS</b>	:Küresel Konumlama Sistemi
<b>GT</b>	:Yer Doğruluk Verisi
<b>HSI</b>	:Hue, Saturation, Intensity (ing)
<b>IMU</b>	:Ataletsel Ölçüm Birimi
<b>SYM</b>	:Sayısal Yüzey Modeli
<b>LIDAR</b>	:Light Detection and Ranging (ing)
<b>NDVI</b>	:Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
<b>NIR</b>	:Yakın Kızıl Ötesi Renk
<b>nSYM</b>	:Topografyasız Yüzey Modeli
<b>RED</b>	:Kırmızı Renk
<b>SAM</b>	:Sayısal Arazi Modeli
<b>SVM</b>	:Destek Vektör Makinesi
<b>SYM</b>	:Sayısal Yüzey Modeli



## 1. GİRİŞ

Bu bölümde tezin konusundan ve amaçlarından bahsedilmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan veri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

### 1.1 Motivasyon

Uydu ve hava fotoğrafları üzerinde otomatik bina bulma işlemi birçok uygulama alanına sahiptir [44]. Bu uygulamalardan bazıları coğrafi bilgi sistemleri oluşturulması ve güncellenmesi, değişiklik analizi, arazi analizi ve şehir görüntüleme ve şehir planlamadır. Şehirlerin hızlı büyümesi göz önüne alındığında otomatik bina bulma önemli bir uzaktan algılama konusudur.

Arazi değişiminin ve gelişiminin gözlemlenmesi özellikle şehir merkezlerine ve şehir kenarlarına yeni yol, bina ve evlerin yapılması açısından oldukça önemlidir [45]. Bu yüzden doğru bir şekilde şehir haritasının oluşturulabilmesine ihtiyaç vardır. Geleneksel olarak bu amaç için fotoğraf kıymetlendirme işlemi uygulanır ancak bu işlem oldukça zaman almaktadır. Yüksek çözünürlüklü çok bantlı görüntülerin ve LİDAR verisinin üretilmesi; bu iki verinin birleştirilerek uygulandığı dijital görüntü işleme yöntemlerinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Literatürde farklı başarımlarında birçok çalışma bulunmaktadır. İlk bina bulma çalışmalarıyla ilişkili ana problemleri Mayer [1] derinlemesine analiz etmiştir. Birçok yöntemin deneysel sonuçları ışığında ana problemleri şu şekilde belirlemiştir; veri içinde yer alan farklı bilgilerin birbiri ile olan ilişkisinin yeteri kadar iyi analiz edilmemesi, farklı veri çeşitlerinin yeteri kadar eğitilememesi ve elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirmedeki yetersizliği. Kullanılan veri kaynağına göre bina bulma teknikleri 3 gruba ayrılmaktadır; (i) uydu ve hava fotoğrafı kullanılan, (ii) 3 boyutlu bilgi kullanılan ve (iii) iki veri tipinin ortak kullanıldığı yöntemler.

Yerleşim yerlerindeki arazi kullanım değişimlerini gözlemlemek şehir planlama için

önemlidir. Şehirlerde yeni bina, yol ve diğer insan yapımı objelerin yapılması yüzünden arazi kullanımı sürekli değişmektedir [46]. Şehir planlayıcıları şehir planı yapmak için arazi kullanımı ile ilgili güncel bilgilere sürekli ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden haritaların değişikliklere bağlı olarak düzenli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Coğrafi veri edinme işlemi genellikle çok masraflı ve zaman alan bir iştir. Bu yüzden coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları güncel arazi bilgisi kullanımı eksikliğinden dolayı sıkıntı yaşamaktadırlar. Uzaktan algılama ile haritalama ve coğrafi bilgi sistemi yapmak için veri elde etme genellikle hassasiyeti yüksek ve etkili bir yöntem olan manuel çıkarma şeklindedir. Ancak manuel bilgi çıkarılması işlemi çok masraflı ve zaman alan bir iş olmasının yanına ayrıca bu iş için yetenekli insanlara gerek duymaktadır. Bu yüzden bu sürecin hızlanması için otomatik ya da yarı otomatik bilgi çıkarma tekniklerinin önemi artmaktadır. Bu tezde ise bu durum göz önüne alındığında otomatik bir çalışmanın masraf açısından daha avantajlı olacağı düşünülmüş hareket edilmiştir.

Uydu fotoğrafları genel olarak haritalama amacıyla binaların çıkarılmasında kullanılır. Yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilebilir olması yapılan çalışmalara önemli katkı sağlamıştır. Uydu görüntüleri araştırmacılara değerli bilgiler sunar. İlk zamanlardaki uydu görüntülerinin çözünürlükleri (örneğin Landsat [47]) insan yapımı ya da doğal objelerin ayırt edilmesine izin vermiyordu. Bu yüzden araştırmacılar bu görüntülerden bölge özelliklerini çıkarmaya odaklanmışlardı. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerin (örneğin Ikonos [11] ve Quickbird [45]) yardımıyla, görüntüde yer alan objelerin gözlemlenmesi mümkün olmuştur. Yüksek çözünürlüklü görüntülerde bölge özelliklerinin yanında insan yapımı objelerin çıkarılması araştırmacılara birçok açıdan fayda sağlamıştır (Örneğin otomatik harita yapılması). Farklı insan yapımı objeler arasında binalar önemli bir role sahiptir. Bu yüzden bina tespiti özel bir ilgi alanı gerektirir. Uydu görüntülerinde bir uzman yardımı ile manuel olarak binaların etiketlenmesi zahmetli bir iştir. Bu durumun asıl sebeplerinden biri görüntüdeki bina objesi sayısının çok olmasıdır. Diğer sebebi ise görüntünün çözünürlüğüdür. Son yıllarda görüntülerin çözünürlüğü iyi bir seviyeye gelmiş olmasına rağmen hala uzman yardımı ile görüntüden obje çıkarılması makul bir çözüm olmamaktadır.

Yüksek çözünürlüklü görüntü yardımıyla otomatik bina bulma çalışmalarında



geometrik sebeplerden kaynaklanan çeşitli zorluklar görülmektedir. Binaların karmaşık yapıda olması (ani yükseklik değişimleri, çakışma, gölge), radyometrik sebepler, farklı malzemelerin karışımı farklı yoğunluk değerinde uzamsal bantlar oluşturması bu zorluklardan bazılarıdır.

Uzaktan algılama alanında görüntüden bina çıkarılması özellikle son yıllarda önemli bir araştırma konusu olmaktadır. İlk yapılan çalışmalarda siyah ve beyaz görüntüler tek bir veri kaynağı olarak kullanılıyordu (Huertas ve Nevatia [2], Kim ve Nevatia [3], Lin ve Nevatia [4]). Bu yöntemler temel olarak kenar tespiti, çizgi çıkarılması ve bina poligonu üretimine dayanmaktadır. Diğer taraftan yükseklik verisi bina çıkarılması için önemli bir kaynak olarak ortaya çıkmıştır. LASER/LIDAR verisinden üretilen SYM birçok çalışmada kullanılmıştır. Alharthy ve Bethel [5]; Priestnall ve diğerleri [6]. Niederost ve Jaynes [7] yaptıkları çalışmada yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafından ürettikleri SYM verilerini kullandılar. Diğer taraftan birçok yöntemde otomatik bina çıkarma süreci için bina modelinden faydalanılmıştır (Suveg ve Vosselman [8]; Tseng ve Wang [9]; Peng ve Liu [10]). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerindeki artış bina çıkarılması için yeni bir veri kaynağı oluşturmuştur. Hava fotoğrafları ile karşılaştırılınca yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri birçok avantaj sağlamaktadır ( Daha masrafsız ve kolay ulaşılabilir olması). Son yıllardaki çalışmalarda bina tespiti için spektral yansıma değeri kullanılmıştır (Lee ve diğerleri [11], Shan ve Lee [12] ). Birden fazla veri kaynağının birleştirilerek kullanımı ve diğer veri kaynakları ( SYM(Sayısal Yükseklik\Yüzey Modeli), GIS(Coğrafi Bilgi Sistemleri) verisi arazi planı vb.) ile görüntünün birleştirilmesi bina çıkarılması için yeni bir akım olarak ortaya çıkmaktadır.

Bina tespiti yöntemlerini iki ana gruba ayırmak mümkündür; düşük seviye ve yüksek seviye görü teknikleri. Düşük seviye görü teknikleri görüntüden binayı tanımlamak için çeşitli kural ve hipotezlere dayanan çıkarımlara ve kenar tespitine dayanmaktadır. Yüksek seviye görü teknikleri ise insan öğrenme sürecini ve bilgiler yardımı ile karar verme yeteneğini taklit eder. Örüntü tanıma, obje tanıma ve görüntü sınıflandırma genellikle yüksek seviye görü teknikleridir.

Bu tez kapsamında LİDAR verisi üzerinde ilerlemeli morfolojik filtreleme işlemi ile

bina bulma algoritması için başlangıç noktaları tespit edilmiştir. Bu noktalar üzerinde bitki olan yerler NDVI haritası yardımı ile elenmiş ve kalan noktalara Geodezik mesafeler hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında ön plan/arka plan maskesi üretilerek çizge-kesme eniyilemesi yapılmıştır. Sonuç olarak bina alanları başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Bulunan sonuçların son yıllarda önerilen yöntemlerle kıyaslanabilir olduğu görülmektedir. Önerilen yöntem otomatik olarak farklı renk, şekil ve yükseklik bilgilerine sahip binaların tespitini yapabilmektedir. Arazi yüzeyindeki yükseklik farklılıklarından etkilenmemektedir.

Bölüm 1, tez konusunu oluşturan problemin tanımını derinleştiren ve bu problemin çözümü için önerilen metodun kabaca hangi aşamalardan oluştuğunu anlatan giriş bölümünden oluşmaktadır. Bölüm 2’de problemin çözümü için önerilmiş aynı etkileşim yöntemini kullanan ve yeni ufuklar açan çalışmalar incelenmiştir. Bölüm 3, tezde önerilen algoritmanın adımlarının detaylı olarak anlatılmasından oluşmaktadır. Bölüm 4’de deneysel sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirmesini içermektedir. Son bölümde ise gelecekteki çalışmaların ne doğrultuda olacağı belirtilmiştir.

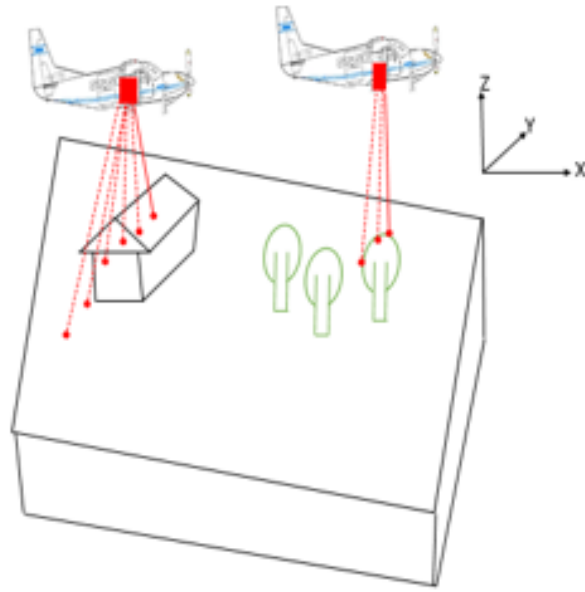
## **1.2 LİDAR verisi**

LİDAR sistemi ışık algılama ve mesafe ölçüm teknolojisidir [39] ve bu teknoloji SYM üretiminde kullanılmaktadır [36]. Şekil 1.1 görüldüğü üzere bir lazer tarayıcı, Küresel Konumlama Sistemi (GPS), ve İnersiyal Ölçme Ünitesinin (IMU) birleşiminden oluşmaktadır. Bir hava aracının altına monte edilen tarayıcı, lazer ışının yol ve gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı (sensör) arasındaki mesafeyi hesaplar [37]. GPS ile bulunduğu konum ve IMU ile uçağın pozisyonu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır [38]. Şekil 1.1’de LİDAR verisinin elde edilmesi işlemleri şekil üzerinde gösterimi yer almaktadır. Şekil 1.2’de görüldüğü üzere LİDAR sistemleri yeryüzüne saniyede binlerce ışın göndererek arazi hakkında üç boyut bilgisini yüksek hassasiyetle elde etmektedir [39].

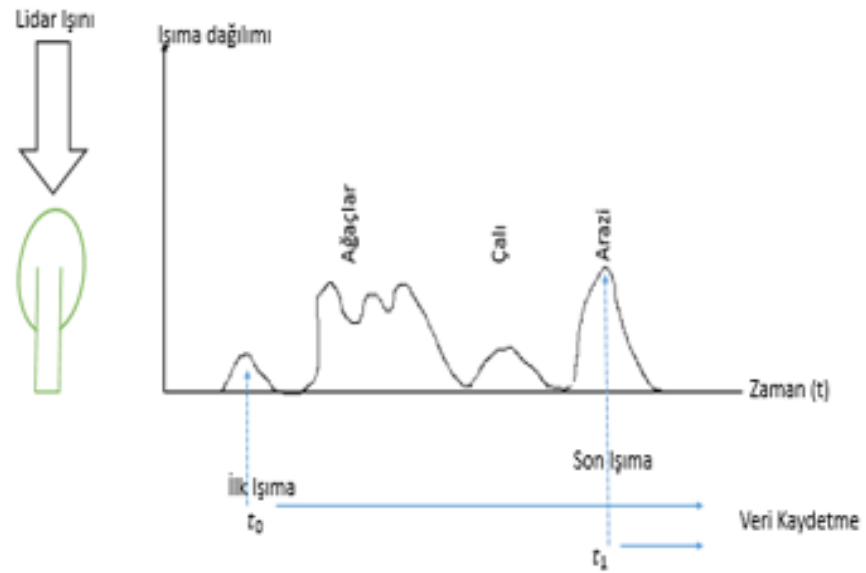
### **1.2.1 Sayısal arazi modeli (SAM) ve Sayısal yükseklik modeli (SYM)**

Ham LİDAR verisi kullanım alanına göre Sayısal arazi modeli ve Sayısal yüzey modeli üretilmesinde kullanılır. Sayısal Arazi Modeli yeryüzünün konum ve yükseklik

bilgisi yardımı ile hesaplanarak oluşturulan yüzeydir. Bu yüzey modeli bitki, ağaç ve insan yapımı nesnelere içermemektedir. Yalnız haldeki arazi morfolojik yapısını içerir.



Şekil 1.1 : LIDAR verisi toplanması



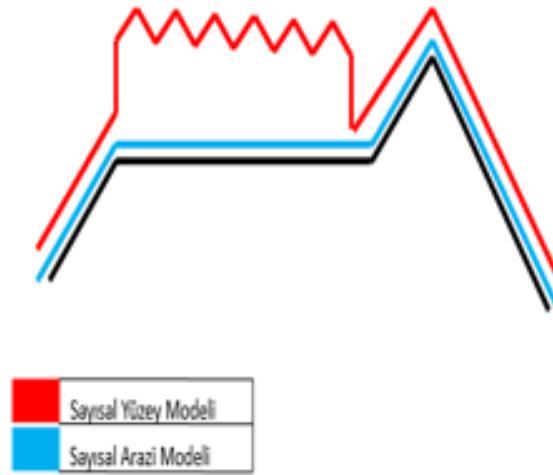
Şekil 1.2 : LIDAR ışını örneği.

Sayısal Yüzey modeli ise araziye ait konum ve yükseklik bilgilerinden faydalandığı yalın arazi yüzeyinin üstünden yer alan bitki, ağaç ve insan yapımı nesnelerin dâhil edildiği yüzeydir.

Bunun yanında Sayısal Arazi Modelinden Sayısal Yüzey modeli çıkarılması sonucu arazinin morfolojik yapısına ait detayları içermediği ve bitki, ağaç, insan yapımı nesneleri içerdiği modele Topografyasız Sayısal Yüzey Modeli (nSYM) denir.

Şekil 1.3' de nSYM'nin SAM ve SYM den farkı görülmektedir.

$$nSYM = SYM - SAM \quad (1.1)$$



Şekil 1.3 : SYM ve SAM.

LİDAR verisinden elde edilen SYM üzerinde morfolojik işlemler uygulanarak bina başlangıç noktalarının bulunması sağlanmıştır. Bu noktada yukarıda bahsedildiği üzere LİDAR verisinin yüksek hassasiyetli olması arazinin doğru sınıflandırması sağlaması açısından oldukça önemlidir.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde otomatik olarak yükseklik bilgisinden bina bulma yöntemlerinin literatürde kabul görmüş ve bu tezin oluşumuna katkı sağlamış çalışmalardan bahsedilmiştir.

LİDAR verisi ile aynı bölgenin uydu/hava görüntüsünün birlikte kullanıldığı birçok çalışma vardır. Bu çalışmaların birinde [22], bina bulmak için Dempster-Shafer birleştirme yöntemi kullanılmıştır ve bu yöntem 5 özelliğe dayanmaktadır. Bunlar SAM ve SYM verileri arasındaki yükseklik farkı, yüzey eğimi değişimi, yüzey eğimi yönü, SYM üzerinde yükseklik değişim durumu ve görüntü NDVI değerleridir. Bu yöntemin iyi çalışması hava fotoğrafındaki bir noktanın LİDAR verisindeki doğru yere denk gelmesine bağlıdır. Ayrıca bir arazinin ağaçlarla kaplı olma oranını ifade eden ' $P_T$ ' tahmin etmek için görsel olarak verinin incelenmesine ihtiyaç duyar.

Hu ve diğerlerinin [23] önerdiği yöntemde LİDAR verisine belirlenmiş yükseklik eşik değeri uygulanmıştır. Yükseklik değeri belirlenen değerden küçük olan yerler arazi, büyük olan yerler obje (bina veya bitki) olarak belirlenmiştir. Sonraki adımda ise renk bilgisi kullanılmış ve bitki ile bina arasında ayırım yapılması sağlanmıştır. Objeye olarak belirlenmiş yerler renk bilgisi olarak yeşil olursa bu yer bitki olarak etiketlenir. Diğer yerlere ise bina etiketi verilmiştir.

Zhou ve diğerleri [24] bina tespiti için ilk olarak hava görüntüsünden kenar tespiti yaparak başlamıştır. Sonra tespit edilen kenarlar ile LİDAR verisinden elde edilen bilgiler birleştirilmiştir. Bu bilgiler binanın çevresine göre yükseklik değerinin fazla olması ve bina ile bitki objelerin LİDAR verisi üzerindeki nokta dağılımının farklı olmasıdır. Bu şekilde binaların tespiti ve bitkilerden ayrılması sağlanmıştır.

Rottensteiner ve arkadaşları [14] bina bulma ile ilgili yaptıkları çalışmada bina tespitini otomatik olarak yapan bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerdikleri bu çalışmada

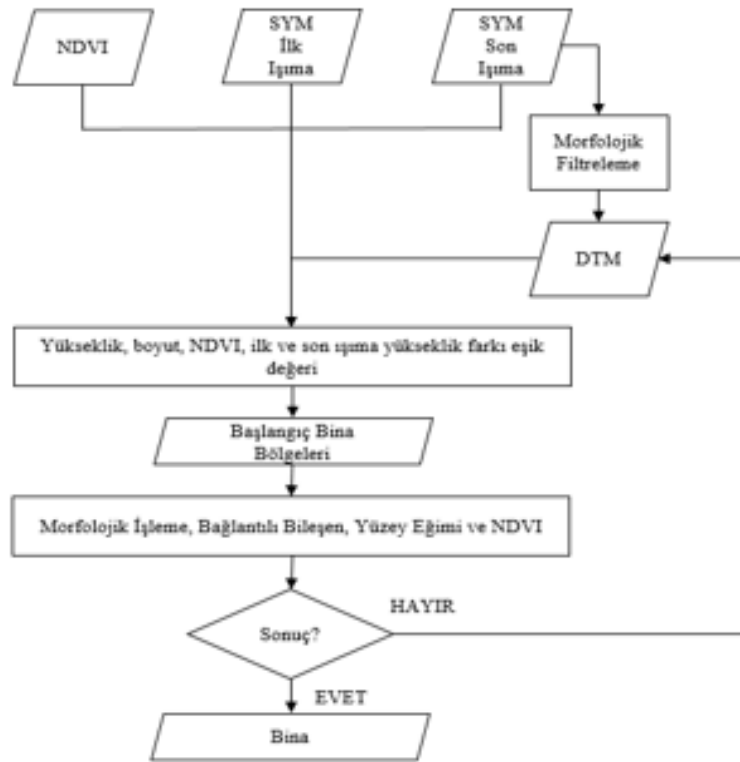
LİDAR verisi ve çokbantlı görüntü kullanılmıştır. Bu önerilen yöntemde binaların farklı yapıdaki görünüşlerinin olduğu alanlarda karşılaşılan problemleri çözmek için sınıflandırma yapılmıştır. Çatı yüzeyinin tespiti LİDAR verisine bölge büyütme yönteminin uygulanmasına dayanmaktadır. Başlangıç bölgesi çok bantlı görüntünün gri seviye bölütlenmiş halinden tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 3 girdi verisi ön işleme adımındaki ham veriden üretilmiştir. Son ve ilk ışına SYM verileri eşit hücresel yapıda örneklenmiştir. NDVI yakın kızılötesi ve kırmızı bant kullanılarak hesaplanmıştır.

Son ışına SYM verisinden ilk olarak kare yapı elemanı kullanılarak morfolojik gri seviye açma işlemi uygulanarak SAM üretilmiştir. SAM, yapı elemanından daha küçük objeleri içermemektedir. Bu yüzden eğer yapı elemanı veri kümesindeki en büyük binadan daha büyük seçilirse bütün binalar elenmiş olur. Eğer çok daha büyük seçilirse arazi bilgileri elenmiş olur. Ama eğer yapı elemanı küçük seçilirse morfolojik açma işleminin sonucu SYM verisinin çok benzeri olur ama büyük binalar kalmış olur. Bu durum morfolojik filtrenin aşamalı bir şekilde uygulanma sebebidir. Başlangıç olarak yapı elemanının boyutu verideki en büyük binanın boyutu olarak seçilmiştir.

Başlangıç bina maskesi eşik değeri işlemi uygulanarak yaratılır. Morfolojik filtre işlemi ile garip ve tuhaf şekilli alanlar elenmiştir. Bina piksellerinin bağlantılı bileşenleri bina başlangıç bölgeleri olarak belirlenmiştir. Bu bölgeler için yüzey eğimi ve ortalama NDVI hesaplanmıştır. Yüzey eğimi değeri başlangıçta sadece büyük binalar olduğu için yüksek bir değeri uygulanır. Sonraki ilerlemelerde yapı elemanı boyutları küçültülür. Her ilerlemede daha iyi bir SAM elde edilir ve böylece küçük bina bölgelerinin tespiti sağlanır. Son ilerlemenin sonucu bina tespiti sonucu gibidir.

Son ışına SYM ile SAM arasındaki yükseklik farkı belirlenen eşik değerinden fazla ise başlangıç bina maskesi olarak belirlenir. Bulunan maskenin sonucunun iyileştirilmesi için NDVI değerinden yararlanılır. Bağlantılı bileşen analizi ile başlangıç bina alanı denilen bölgelerin alanı belirlenen minimum alandan küçük ise elenir. Bu şekilde her ilerlemede yapı elemanının boyutu küçültülerek bu adımlar tekrar uygulanır. Belirlenen yapı elemanı minimum boyuta ulaşıncaya kadar her adım tekrar edilir. Böylece bina tespiti tamamlanır. Şekil 2.1'de adımlar gösterilmiştir.

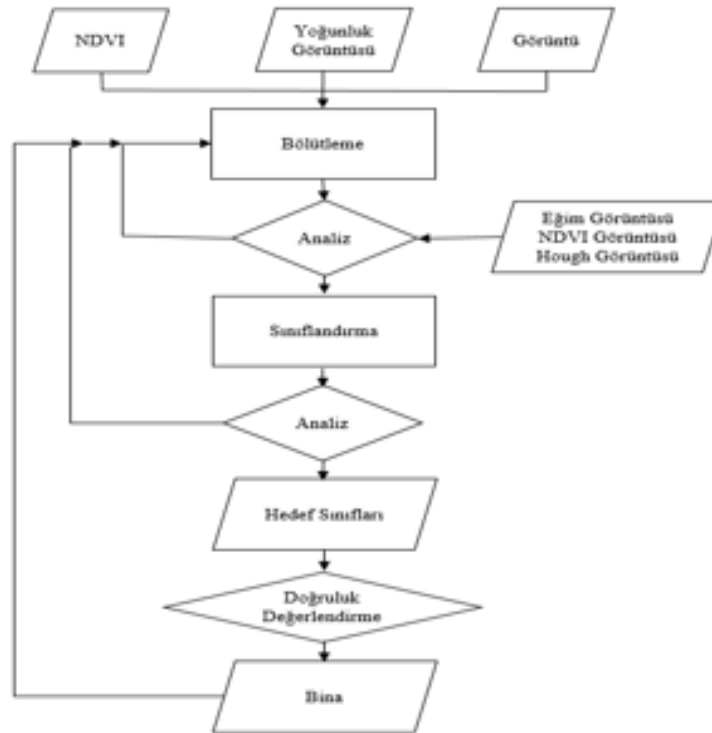
Uzar ve Yastıklı'nın yaptığı çalışmada [16] aynı pozisyonda yer alan platformda çok sensörlü sistemden elde edilen hava fotoğrafları ile LİDAR verisi kullanılmıştır. Otomatik bina bulma yöntemi nesne tabanlı görüntü analizine dayanan bölütleme, analiz ve sınıflandırma adımlarını içerir. Sınıflandırma olarak aşamalı sınıflandırma tercih edilmiştir. İlk olarak bitki ve toprak sınıfı üretilmiş, bina sınıfı bu sınıflardan çıkarılmıştır. NDVI, eğim ve Hough görüntüler üretilmiş ve bina sınıfı ile diğer sınıfların karışması engellenmiştir. Yoğunluk görüntüsü LİDAR verisinden üretilmiş ve morfolojik işlemler uygulanarak bina sınıfının doğruluğunun artması sağlanmıştır. Şekil 2.2'de önerilen bina bulma iş akışı gösterilmiştir. Şekil 2.3'de ise ilerlemeli sınıflandırma adımının şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Rottensteiner ile arkadaşlarının geliştirdiği yöntem.

Chen ve arkadaşlarının [13] önerdiği yöntem iki adımdan oluşmuştur. Birinci adım bölge tabanlı bölütleme, diğer adım ise nesne tabanlı sınıflandırmadır. Bölütleme adımında bölge büyütme tekniği kullanılmıştır. Bölütleme adımı sonucunda oluşan her bölge sınıflandırılması gereken aday yerlerdir. Bu aday yerlerin normalize edilmiş

SYM(SYM den SAM çıkarılarak elde edilmiş) verisinden faydalanarak yükseklik eşik değerine göre arazi olmayan yerler belirlenmiştir. Arazi olmayan bölgelerin hava fotoğrafından elde edilen yeşillik indeksi değerine göre bitki ya da bitki olmayan şeklinde iki sınıfa ayrılması sağlanmıştır. Bitki olmayan şekilde sınıflandırılmış bölgenin doku bilgisi hava görüntüsünden elde edilmiş ve görüntünün doku analizi için Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GLCM) yöntemine başvurulmuştur. Bu şekilde bitki olmayan bölgede hala bitkiler varsa elenmesi sağlanmıştır. Doku bilgisi dışında engebe bilgisinden de faydalanarak yine bitki olan yerlerin elenmesi sağlanmıştır. Engebe bilgisi için eğimin varyansından faydalanılmıştır. Obje tabanlı sınıflandırma yönteminin son kısmında ise kalan bölgedeki binaların şekil bilgisine göre eleme yapılmıştır. Buna göre belirlenmiş eşik değerinden küçük olan alanlar ile en-boy oranı belirlenmiş eşik değerinden büyük olan bölgeler elenmiştir. Şekil 2.4'de iş akışı gösterilmiştir.

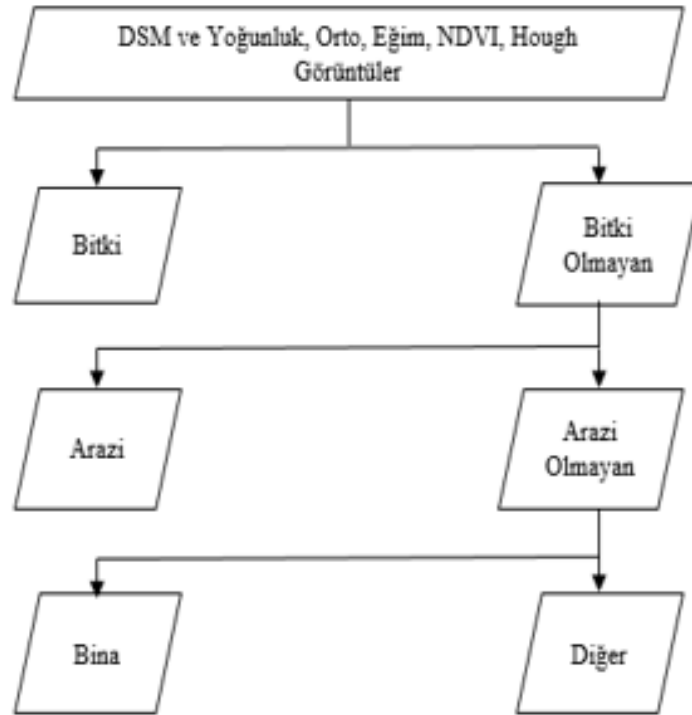


Şekil 2.2 : Uzar ve Yastıklı'nın önerdiği yöntem.

Awrangjeb ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [17] girdi olarak LİDAR verisi ve çok



bantlı uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bina tespiti adımıında Lidar verisi üzerindeki ağaç ve binaya ait noktalar araziye ait olmayan yer olarak tespit edilmiştir. İlk olarak arazi üzerindeki LİDAR noktaları kullanılarak arazi maskesi olarak bilinen bina maskesi üretilmiştir. Çok bantlı uydu görüntüsü üzerinde her piksel kullanılarak NDVI hesaplanmıştır. Görüntünün gri seviye versiyonu kullanılarak her piksel için doku analizi için entropi hesaplanmıştır. Aynı gri seviye görüntü kullanılarak en az 1 metre uzunluğundaki çizgiler bulunmuştur. Bu çizgiler arazi maskesi, NDVI ve entropi kullanılarak arazi, ağaç, çatı kenarı şeklinde sınıflandırılmıştır. Çatı kenarı ve tepesi olarak sınıflandırılan çizgiler ile araziye ait olmayan noktalar birlikte işleme sokulmaktadır.

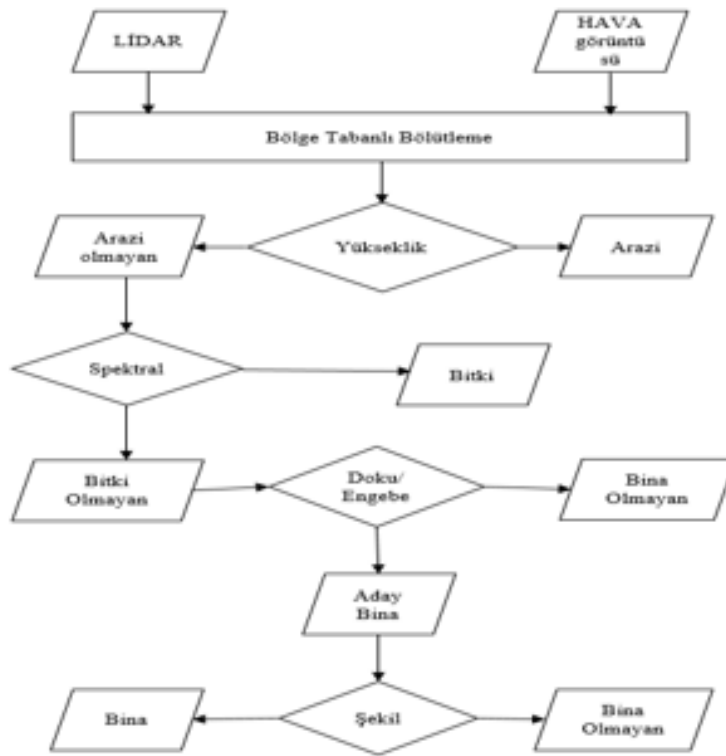


Şekil 2.3 : Uzar ve Yastıklı'nın önerdiği sınıflandırma yöntemi.

LİDAR verisinden bina yüzeyi çıkarımı işlemi yapılırken, bina kenarı ve tepesi olarak belirlenen çizgiler bölge büyütme yöntemine başlangıç yerleri olmaktadır. Yüzeyle aynı özellikleri gösteren noktalar ilerlemeli olarak yüzeye dâhil edilmektedir. Aynı binada yer alan diğer yüzeyler aynı işlemler ile görüntüye yakın araziye ait olmayan

noktalar ile çıkarılmaktadır. Yanlış tespit edilen yerler genellikle ağaçların olduğu yerler olmaktadır ve bu yerler boyut ve yüzeydeki boşluk bilgisi kullanılarak elenmektedir. Kalan yüzeyler ise nihai sonuçtur. Şekil 2.5’de iş akışı gösterilmiştir.

Yongmin ve arkadaşlarının önerdiği yöntem [18] üç adımdan oluşmaktadır: Görüntü bölütleme, bina çıkarılması ve sınıflandırma. İlk adımda görüntüye kontrast germe işlemi uygulanmış ve bölge büyütme tekniği ile bölütlenmiş görüntü sonucu üretilmiştir. İkinci adımda LİDAR verisine çeşitli filtreler uygulanarak SAM verisi elde edilmiştir. LİDAR verisinden bina alanları çıkarılması için ikili eğitilmiş sınıflandırma yöntemi hava fotoğrafı kullanılarak uygulanmıştır. Son adımda bina bilgisi ile bölütlenmiş hava fotoğrafı kullanılarak birleştirilmiş sonuç üretilmiştir. Son obje tabanlı sınıflandırma haritası için bina olmayan bölgeler SVM sınıflandırma yöntemine girdi olarak verilmiştir.



Şekil 2.4 : Chen ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.

Gilani ve arkadaşlarının yaptığı çalışma [19] 6 adımdan oluşmaktadır. İlk adımda LİDAR verisine yükseklik eşik değeri uygulanarak başlangıç bina maskesi

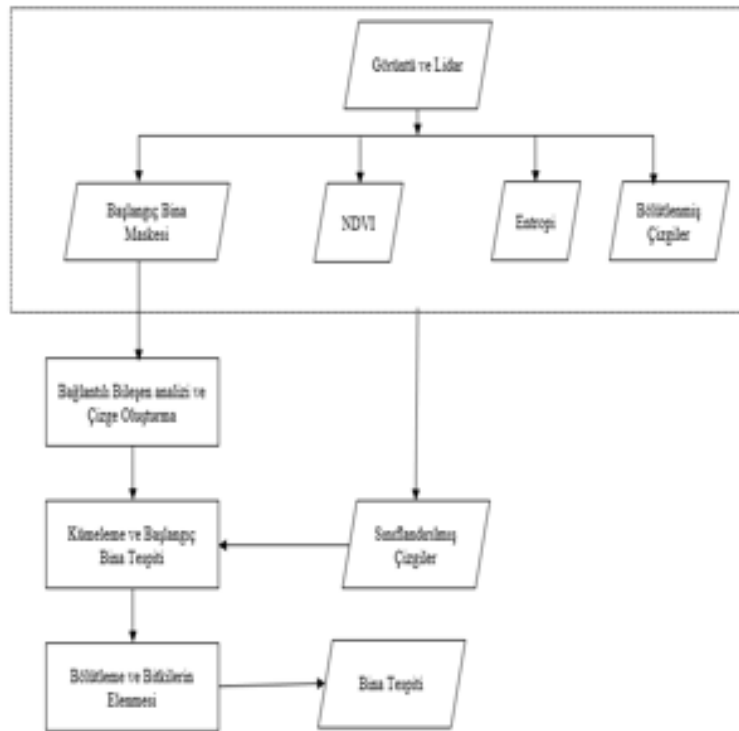
üretilmiştir. Bunun yanında görüntü kullanılarak NDVI, entropi hesaplanmış ve görüntü üzerindeki çizgiler tespit edilmiştir. İkinci adımda belirlenen çizgiler farklı sınıflara ayrılmıştır. Üçüncü adımda bağlantılı bileşen analizi ile bina maskesi tespit edilmiş yerler birden fazla maskeye ayrılmıştır. Bu maske iki renkli harita olarak üretilmiş ve yüksek yerler siyah renk ile gösterilmiştir. Bu siyah yerler düğüm kabul edilerek bağlantı bileşen sonucundan çizge üretilmiştir. Bu siyah yerlerin 8 komşuluğuna bakılmış ve düğüm içerisinde yer alan kenar objeye ait kenar olarak belirlenmiştir. Bir objeye ait olmayan kenarlar ise elenmiştir. Bir sonraki adımda ise en uzun bina tepesi kullanılarak en kısa mesafe algoritması ile o çizginin bir objeye ait olup olmadığı belirlenmiştir. Bu algoritma bina maskesindeki her obje belirlenene kadar devam etmiştir. Sonraki adımda NDVI değeri kullanılarak bina olmayan bitki ve ağaçların elenmesi sağlanmıştır. Son adımda ise LİDAR verisi NDVI ve entropi kullanılarak bina sınırları tespit edilmiştir. Şekil 2.6'da algoritmanın iş akışı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Awrangjeb ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.

Siddiqui ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [20] LİDAR verisi noktalarının araziye

ait olan ve olmayan noktalar olarak ayrılması yapılmıştır. Görüntü üzerinde kenar bulma algoritması çalıştırılarak kenar tespiti yapılmıştır. Tespit edilen kenarların yönelim açısına göre açı histogramı hesaplanmıştır. 0-180 derece arası 16 bölgeye ayrılmıştır. Binaya ait olan kenarların birbiri ile 90 derecelik açı yapacağı varsayılarak kenarlar bina bölgelerine ayrılmıştır. Bu şekilde bina yönelimi elde edilmiştir. Bu yönelim ile LİDAR verisi kullanılarak yükseklik yoğunluk görüntüsü elde edilmiştir. Yoğunluk görüntüsü kullanılarak her yoğunluk bölgesinde eğim ve tanjant değerinin değişeceğini varsayan gradyan tabanlı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemde x ve y boyutunda değişim incelenmiştir. Buna göre yoğunluk değişim oranı belirlenen eşik değerinden az olan yerler bina olarak belirlenmiştir. Çıkan bina maskesinde renk bilgisi ve gölge tespiti yapılarak bina olmayan yerler elenmiştir. Son olarak gürültü filtresinden geçirilerek bina tespiti yapılmıştır. Şekil 2.7’de ilgili çalışmanın adımları yer almaktadır.

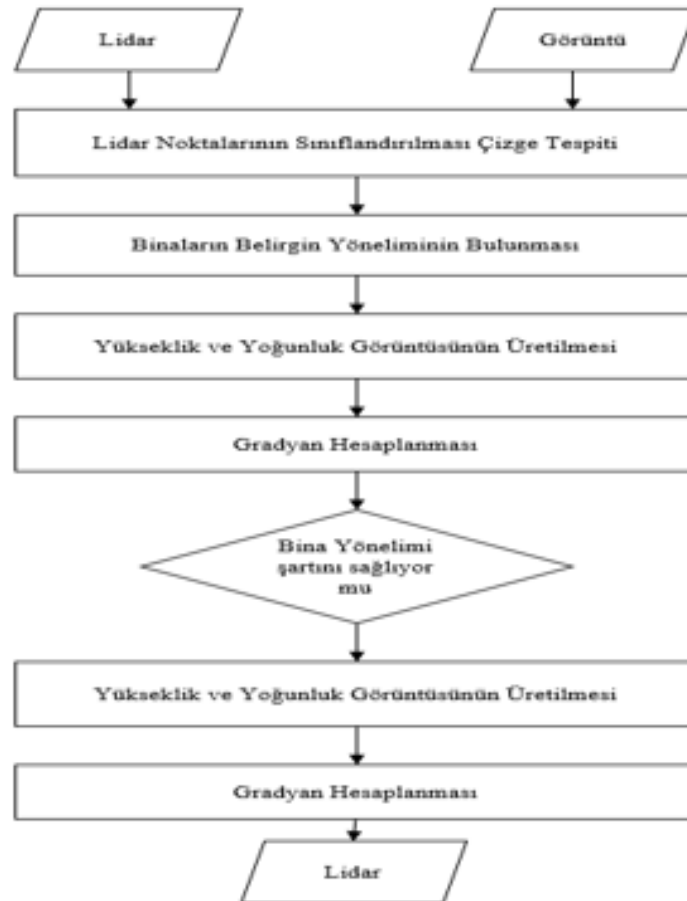


Şekil 2.6 : Gilani ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.

Huber ve arkadaşlarının [21] önerdiği yöntemde LİDAR ve görüntüden elde edilen

özelliklerden ilk olarak başlangıç yüzey bölgesi çıkarmışlardır. Bu imge bölgelerini LİDAR verisi ile ağaç ve bina imge bölgelerine ayırmışlardır. Sonra iki adımdan oluşan işlemler ile bina imge bölgelerinden yüzey özellikleri çıkarmışlardır. Bu adımlar LİDAR verisine bölge büyütme bölütleme uygulanması ve geometrik yaklaşımların uygulanmasıdır. Çalışmanın ilerleyen adımlarında bina kenarları bulunmuş ve 3 boyutlu modelleme yapılmıştır.

Bu tez kapsamında yukarıda bahsedilen yöntemlere göre avantajları olan bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem binaların arazinin şeklinden etkilenmeden bulunmasını hedeflenmektedir. Görüntünün çekilme zamanından bağımsız olduğundan farklı zamanlarda çekilmiş görüntülerde çalışmaktadır. Ayrıca görüntüdeki binaların renk ve şekil bilgisinin farklılık göstermesine karşı dayanıklıdır.

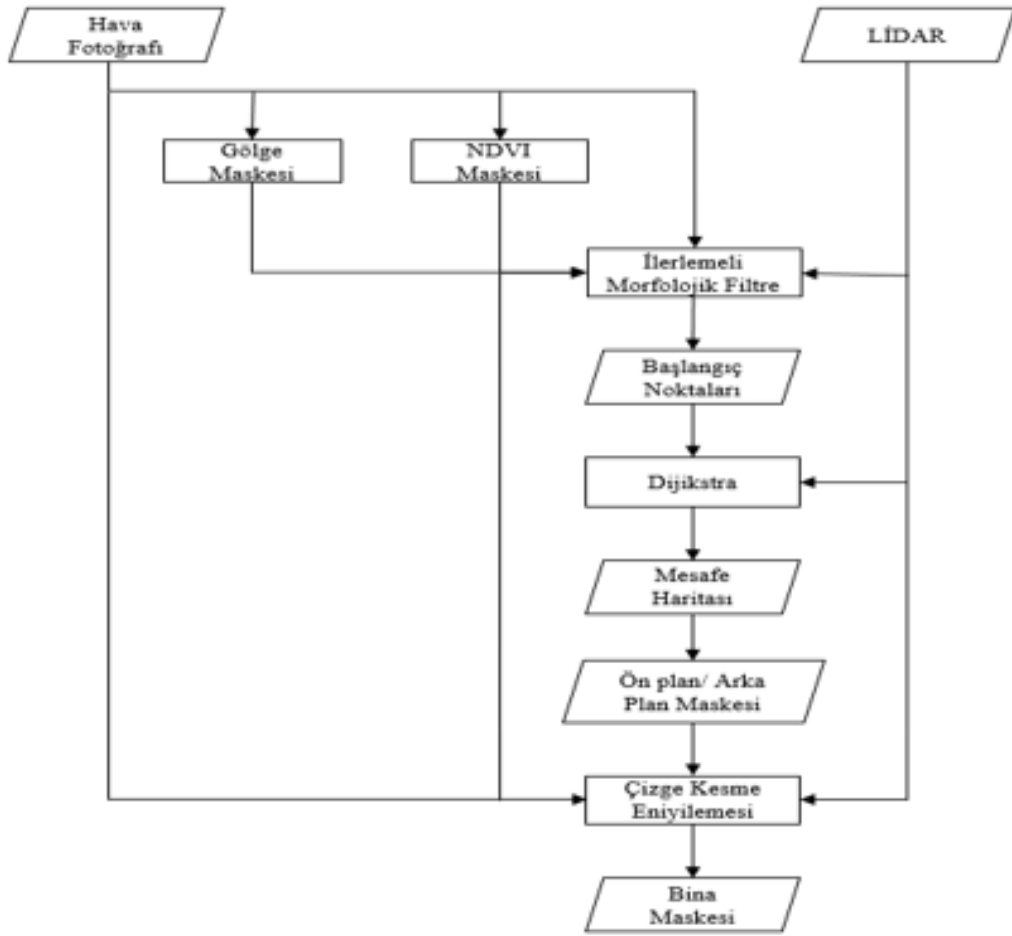


Şekil 2.7 : Siddiqui ve arkadaşlarının önerdiği yöntem.



### 3. ÇİZGE KESME YÖNTEMİ İLE BİNA BULMA ALGORİTMASI

Bu bölümde bu tez kapsamında geliştirilen bina bulma algoritmasını oluşturan adımların detaylı anlatılması yer almaktadır. Bina bulma çalışması 4 adımdan oluşmaktadır. Grafikselsel gösterimi Şekil 3.1'de yer almaktadır.

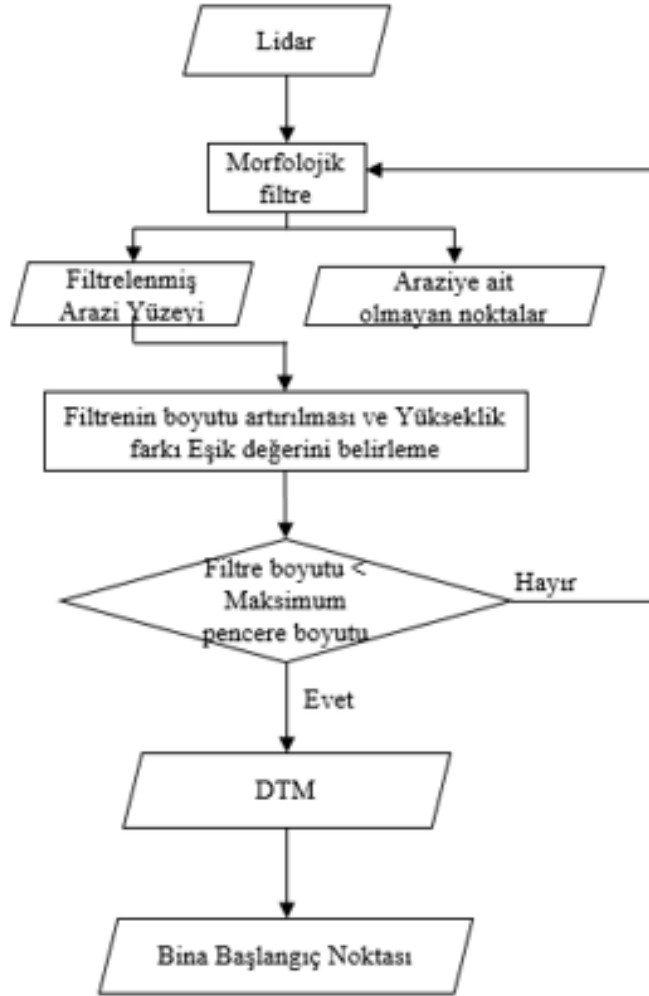


Şekil 3.1 : Bu çalışmada önerilen yöntem.

#### 3.1 Bina Başlangıç Noktaları Bulma

Binalar üzerinde başlangıç noktalarını bulmak için [25]'de önerilen yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemde göre LİDAR yükseklik verisinden üretilmiş SYM(Sayısal

Yüzey Modeli) üzerinde ilerlemeli olarak morfolojik filtreler uygulanmıştır. Bu morfolojik filtreler genişleme ve aşınmadır. Filtreleme işleminin yanında bina olmayan diğer objelerin elenmesi için gölge ve bitki olan kısımların elenmesi işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.2 : Bina başlangıç noktalarını bulma yöntemi.

### 3.1.1 Temel morfolojik işlemler

Morfoloji (biçimbilim), görüntülerden geometrik bilgi çıkartan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapısal elemanı (Structuring Element) olarak bilinen bir şekil göstergesi kullanılır. Bu işlemin çıktısı, bu yapıtaşının verilen görüntüyle örtüşüp örtüşmediğine bağlıdır. Elde edilen bilgi yapısal elemanın şekline ve boyutuna bağlıdır.



Temel morfolojik işlemler [26] matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$X \oplus B = \{ p \in Z^2 : p = x + b, x \in X, b \in B \} \quad (\text{genleşme}) \quad (3.1)$$

$$X \ominus B = \{ p \in Z^2 : p + b \in X, \forall b \in B \} \quad (\text{aşınma}) \quad (3.2)$$

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (\text{açma}) \quad (3.3)$$

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B \quad (\text{kapama}) \quad (3.4)$$

$X$  = görüntü,

$B$  = yapı elemanı

#### *Genleşme;*

Görüntüdeki nesneyi büyütme ya da kalınlaştırmaya yarayan morfolojik işlem türüdür. Yapısal eleman ile kesiştiği kısım kadar büyütme gerçekleşir. İşlenecek görüntünün her pikseli, yapısal elemanın merkez noktasına getirerek genleşme işlemi yapılmaktadır. Genleşme işleminin nasıl yapılacağını yapısal eleman belirler. Bu işlem uygulandığı görüntüde boşlukların dolması ve köşelerin yumuşaması beklenir.

#### *Aşınma;*

Görüntüdeki nesneyi küçültme ya da inceltmeye yarayan morfolojik işlem türüdür. Yapısal eleman ile kesiştiği kısım kadar aşınma gerçekleşir. İşlenecek görüntünün her pikseli, yapısal elemanın merkez noktasına getirerek aşınma işlemi yapılmaktadır. Aşınma işleminin nasıl yapılacağını yapısal eleman belirler. Bu işlem uygulandığı görüntüde boşlukların genişlemesi ve bağlı nesnelere ayrılması beklenir.

#### *Yapısal eleman;*

Yapısal eleman görüntü üzerinde yapılmak istenen işleme göre çeşitli boyutlarda olabilen küçük görüntüdür. Farklı şekillerde olabilen yapısal eleman genelde kare, dikdörtgen ve daire şeklindedir. Şekil 3.3'te 3x3 boyutlarında örnek yapısal eleman çeşitleri mevcuttur.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Şekil 3.3 : Örnek yapısal eleman.

### 3.1.2 Gri seviyeli morfolojik İşlemler

$D_f$  ve  $D_b$  sırasıyla  $f$  ve  $b$ 'nin tanım bölgeleridir. Bu çalışmada morfolojik işlemler LİDAR verisinden üretilene SYM'ne uygulanmıştır ve SYM verisi gri seviye bir veridir. Bu durumda genişleme ve aşınma operatörlerinin bu çalışma kapsamında matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$(f \ominus b)(s, t) = \max \{f(s + x, t + y) - b(x, y) \mid (s + x), (t + y) \in D_f; (s, y) \in D_b\} \quad (3.5)$$

*Genleşme;*

$$d_p = \max_{(x_p, y_p) \in w} (Z_p) \quad (3.6)$$

*Aşınma;*

$$e_p = \min_{(x_p, y_p) \in w} (Z_p) \quad (3.7)$$

Buna göre  $w$  görüntü üzerinde dolaştırılan pencereyi;  $x_p, y_p$  piksel pozisyonunu  $z_p$ 'de piksel değerini ifade etmektedir. Genleşme işleminde pencerenin merkezindeki değer pencere içerisindeki maksimum değer ile değiştirilmektedir. Aşınma işleminde ise pencerenin merkezindeki değer pencere içerisindeki minimum değer ile değiştirilmektedir. Aşınım işlemi;

olarak tanımlanmıştır. Yani görüntüye önce aşınma ( $\in B(f)$ ) ardından da genişleme

$$\gamma B(f) = \delta_B[\in B(f)] \quad (3.8)$$

uygulanır. Top Hat filtre ise görüntüden genişleme uygulanmış halinin çıkarılması ile elde edilen sonuçtur.

$$TH_B(f) = f - \gamma B(f) \quad (3.9)$$

Görüntüye Top Hat filtre uygulanması sonucunda komşularına göre yükseklik değeri daha fazla olan piksel grupları elde edilmiş olur. Lakin bu elde edilen sonuç içerisinde pencere boyutu ( $w$ ) büyük önem taşımaktadır. Pencere boyutunun küçük verilmesi sonucunda yerel olarak yüksek olan ancak uzamsal olarak büyük olan alanlar tespit edilememektedir. Öte taraftan pencere boyutu büyük seçildiği takdirde uzamsal olarak küçük olan binalar elde edilememektedir. Bu nedenle önerilen yöntemde değişken pencere boyutları uygulanarak her ebattaki yapıların bulunması hedeflenmiştir. Önerilen yöntemin detaylı çalışması aşağıda anlatılmıştır.

#### *Pencere formülleri*

Aşağıda gösterildiği üzere pencere boyutları belirlenen bir  $k$  değerine göre çarpım ya da üstsel olarak değiştirilebilmektedir.

#### *Girdiler*

$$w_k = 2kb + 1 \quad (3.10)$$

$$w_k = 2b^k + 1 \quad (3.11)$$

- LİDAR ölçümlerini içeren noktalar kümesi.  
Her bir nokta 3 değerle ifade edilmektedir ( $x$ ,  $y$  ve  $z$ )  
 $X$  ve  $y$  uzamsal konumu  $z$  ise yüksekliği ifade eder.
- Hücre boyutu  $c$ .
- Parametre  $b$
- maksimum pencere boyutu.
- arazi eğimi  $s$ .

- başlangıç yükseklik farkı eşik değeri dh.
- maksimum yükseklik farkı dh.

Çıktı:

- 2 küme sınıflandırılmış noktalar (bina ve bina olmayan )

Verilen girdilere göre iş akışı ve çıktı üretimi aşağıda sözde kod olarak gösterilmiştir.

1. Minimum ve maksimum x ve ye değerlerini belirle
2. satır (n) ve sütun (m) sayılarını aşağıdaki formüle göre belirle

$$m = \text{floor} \left[ \frac{\max(y) - \min(y)}{c} \right] + 1$$

$$n = \text{floor} \left[ \frac{\max(x) - \min(x)}{c} \right] + 1$$

3. LİDAR noktaları için iki boyutlu A[m; n] dizisi oluştur. p(x; y; z).Her noktayı dolaş ve konumlarına göre hücre değerlerini doldur. Eğer birden fazla nokta aynı hücreye düşerse yüksekliği düşük olan noktayı seç.

4. Herhangi bir değer içermeyen hücreleri en yakın komşu interpolasyon uygulayarak içeri doldur. A'yı B'ye kopyala. 2 boyutlu A dizisini 0 ile doldur.

5. pencere boyutlarını (w) yukarıda belirtilen formüllere göre belirle

$$w \leq \text{maksimum pencere boyutu}$$

6. dh = dh

7. for her bir pencere boyutu için

8. for i = 1 to m

9. P = A[i; ]

10.  $Z \leftarrow P_i$  ( $P_i$ 'deki yükseklik değerlerini  $Z$  dizisine aktar)
11.  $Z = \text{aşınma}(Z; w)$
12.  $Z = \text{genleşme}(Z; w)$
13.  $P \leftarrow Z$  ( $P$ deki yükseklik değerlerini  $Z$ deki değerlerle değiştir.)
14.  $A[i; j] = P$  ( $P$ deki filtrelenmiş satır değerlerini geri  $A$  dizisindeki alakalı satıra kopyala)
15. for  $j = 1$  to  $n$
16.     if  $Z[j] - Z[j] > dh$  sonra  $ag[i; j] = w$
17.     end for  $j$  loop
18. end for  $i$  loop
19. if ( $dh > dh$ )
20.      $dh = dh$
21. else
22.      $dh = s(w - w)c + dh$
23. end for pencere boyutu loop
24. for  $i = 1$  to  $m$
25.     for  $j = 1$  to  $n$
26.         if ( $B[i; j](x) > 0$  and  $B[i; j](y) > 0$ )
27.             if ( $ag[i; j] = 0$ )
28.                  $B[i; j]$  is a arazi noktası
29.             else

30.  $B[i; j]$  is a arazi olmayan nokta

31. end for j loop

32. end for i loop

**aşınma**( $Z, w_k$ )

1. for  $j = 1 : n$

$$2. Z_f[j] = \min_{j - [w_k/2] \leq t \leq j + [w_k/2]} (Z[t])$$

3. return  $Z_f$

**genleşme**( $Z, w_k$ )

1. for  $j = 1 : n$

$$2. Z_f[j] = \max_{j - [w_k/2] \leq t \leq j + [w_k/2]} (Z[t])$$

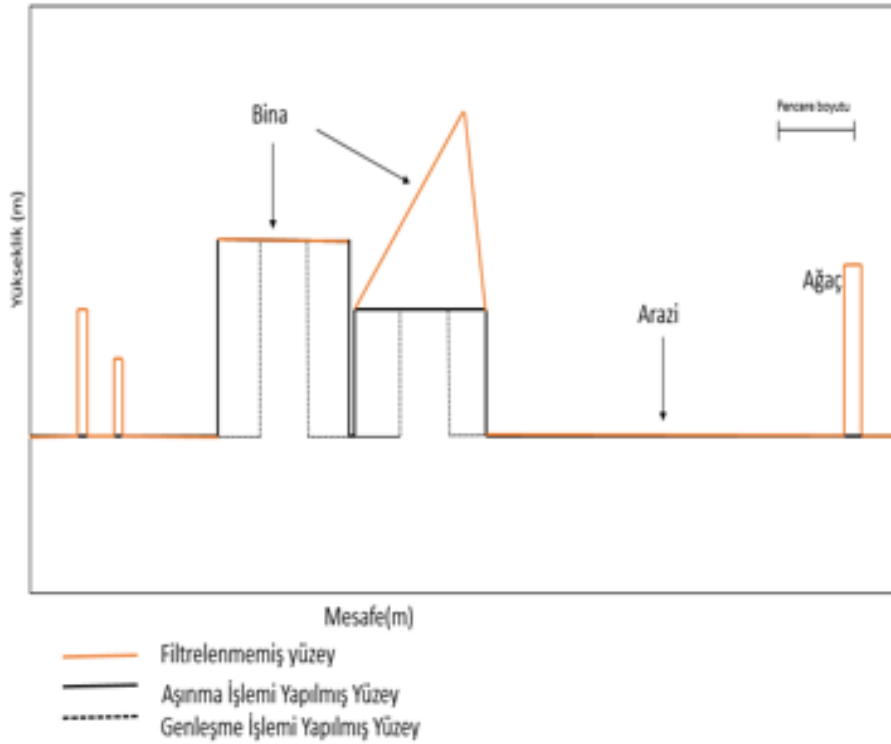
3. return  $Z_f$

Pencere boyutunun büyüklüğü ve nesnelerin uzamsal dağılımı yukarıda bahsedilen yöntemin başarısı açısından kritik bir öneme sahiptir. Eğer bu yöntemde küçük bir pencere boyutu kullanılırsa arazi noktalarının çoğu korunacaktır. Ayrıca araziye ait olmayan yerlerden sadece küçük nesnelere (ağaç, araba vs.) ortadan kaldırırlar. Büyük binalara ait olan noktaları ortadan kaldırmak için yeterli olmayacaktır. Öte yandan büyük pencere boyutu kullanılması objeler dışında araziye ait noktaların da ortadan kalkmasına neden olur. İdeal olarak filtre pencere boyutunun arazi noktalarını koruyacak kadar küçük ve aynı zamanda bina, ağaç ve arabaları ortadan kaldıracak kadar büyük olması gerekmektedir. Ne yazık ki gerçek dünyada bu şekilde ideal bir pencere boyutundan söz etmek mümkün değildir.

Bu problemi çözmek için aynı veriye küçük değerden başlayıp artarak devam eden pencere boyutlarının uygulanması önerilmiştir [27]. Arazi olarak sınıflandırılan her

noktaya pencere boyutuyla orantılı olarak bir ağırlık atanmaktadır. Sonuçta, arazi yüzeyi, noktaların ağırlıklarına bakılarak belirlenmektedir.

Bu bahsedilen morfolojik filtrenin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Çünkü önceden belirlenmiş sabit bir pencere boyutuna ihtiyaç duyar. Bu nedenle [27] ilerlemeli morfolojik filtreleme yöntemini önermiştir.

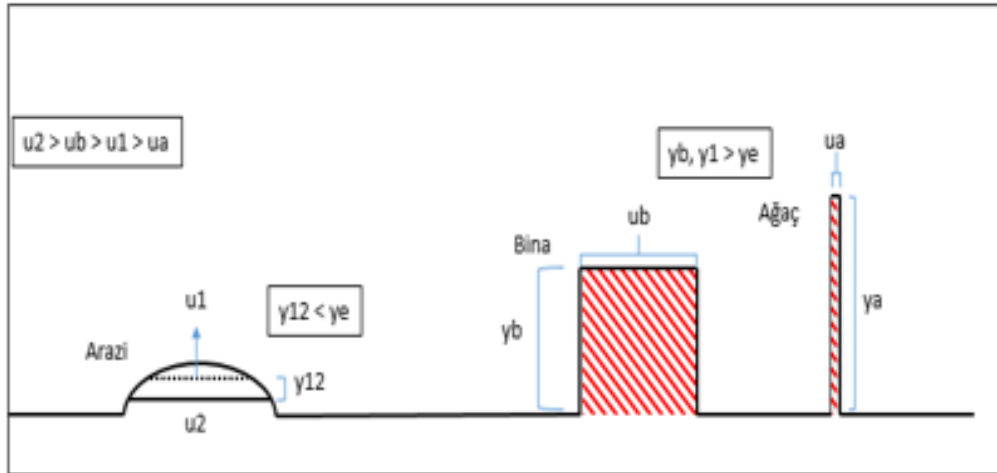


Şekil 3.4 : Örnek arazi yükseklik değişimi.

Şekil 3.5'te ilerlemeli morfolojik filtrenin çalışması gösterilmektedir. Başlangıçta orijinal yükseklik verisi üzerine en küçük pencere boyutu ( $u_1$ ) kullanılarak genişleme işlemi uygulanmıştır. Büyük boyutlu binalar bu filtreleme işleminden etkilenmezler, çünkü boyutları ( $u_1$ ) den büyüktür. Ama boyutu ( $u_1$ ) den küçük olan ağaçlar ortadan kaldırılır. Arazi içindeki noktaların yüksekliği pencere içindeki en küçük yükseklik değeri ile güncellenir.

Bir sonraki adımda pencere boyutu ( $u_2$ ) olarak yükseltilir. Bu pencere boyutu orijinal yükseklik verisine değil de bir önceki adımda filtrenmiş olan yükseklik verisine

uygulanır. Böylece daha da yumuşatılmış bir yüzey elde edilir. Burada binaya ait noktalar bina boyutu, pencere boyutundan ( $u_2$ ) küçük olduğundan dolayı, pencere içindeki en küçük yükseklik değeri ile güncellenir. Pencere boyutu azar azar artırılarak uygulanan morfolojik genişleme işlemi sonucunda ilerlemeli morfolojik filtreleme yöntemi yükseklik verisinde farklı boyutlardaki bina ve ağaçların ortadan kaldırmasını sağlamaktadır. Ancak bu yöntem sonucunda gerçek arazi yüksekliğinden daha düşük yükseklik değerleri elde edilir. Örneğin (Şekil 3.5'te ( $u_2$ )'nin altında yer alan noktalar). Düz arazi alanında, filtrelenmiş alan genellikle orijinal alandan daha düşük bir yükseklik değerine sahiptir. Bu yüzden, arazi içindeki çoğu nokta ölçümleri ortadan kaldırılır. Eğer genişleme işlemi yükseklik verisine direkt uygulanırsa sadece filtrelenmiş yüzey kalır. Arazi, bina ve ağaç gibi yüksekliği farklı alanlara yükseklik farkı eşik değeri uygulandığında bu problem halledilmiş olur.



ya: ağaç yüksekliği
yb: bina yüksekliği
y12: arazi yükseklik farkı
ua: ağaç uzunluğu
ub: bina uzunluğu
u1: 1. filtre uzunluğu
u2: 2. filtre uzunluğu

İlerlemeli morfolojik filtrelemede, filtre uzunluğu her bir yinelemede belirli bir oranda artırılarak, yükseklik verisi üzerinde açma 'opening' işlemi uygulanır. Eğer iki filtreleme arasında yükseklik değişimi belirlenen eşik değerinden fazla ise bu değişime uğrayan nesnelere araziye ait olmayan nesnelere olarak tespit edilir.

Şekil 3.5 : Sayısal yükseklik modelinin 2B gösterimi.

Her bina belli şekil ve yüksekliğe sahiptir. Binanın tabanı ile çatısı arasında ani bir



yükseklik değişimi vardır. Bunun yanı sıra arazide ise yükseklik yavaş bir şekilde değişir (Şekil 3.5'te görülmektedir). Bina ve arazi arasındaki yüksekliğin davranış farkı sayesinde filtre kullanılarak bina ile arazinin birbirinden ayrılması sağlanır.  $dh_{p,1}$  ifadesi Şekil 3.5'te p noktası için birinci filtreleme işlemi sonucunda orijinal yükseklik verisi ile filtrelenmiş yüzeyin arasındaki yükseklik farkını ifade eder.  $dh_{T,1}$  yükseklik farkı eşik değerini ifade eder. Eğer  $dh_{p,1} \leq dh_{T,1}$  olursa p noktası toprak olarak ama  $dh_{p,1} > dh_{T,1}$  olursa toprak olmayan yer olarak sınıflandırılır.  $dh_{max(t),1}$  değeri orijinal arazi ile filtrelenmiş arazi arasındaki maksimum yükseklik farkına eşittir.  $dh_{T,1}$  değeri  $dh_{max(t),1}$  değerinden küçük seçilirse yükseklik verisindeki arazi korunmuş olur. Genel olarak,  $dh_{T,1}$  pencere boyutunun bir fonksiyonu olacaktır.

İkinci adımda elde edilen ile birinci adım sonucu elde edilen yüzeyler arasındaki maksimum yükseklik farkı  $dh_{max(t),2}$  olarak ifade edilir. Bu farka sahip yüzeyin yükseklik değeri  $dh_{max(t),2}$  değeri yükseklik farkı eşik değeri olan  $dh_{T,2}$  den küçük olduğu sürece korunmuş olur. Bu adım ile önceki adım arasındaki bina için minimum yükseklik farkı ise  $dh_{min(b),2}$  olarak ifade edilir. Bu değer ise yaklaşık olarak bina yüksekliği kadardır. Bina nesnesi,  $dh_{min(b),2}$  değeri  $dh_{T,2}$  değerinden büyük olması koşuluyla ortadan kalkar.

Genel olarak yükseklik farkı eşik değeri  $dh_{T,k}$  k.cı adımdaki analiz edilecek arazide bulunan minimum bina yükseklik değeri olarak ayarlanır. Arazi üzerinde seçilen bir p noktası  $dh_{T,k}$  k.cı adım için eşik değeri olarak seçildiğinde; eğer  $dh_{p,k} \leq dh_{T,k}$  olursa p noktası yer olarak belirlenir. P noktası  $dh_{p,k} > dh_{T,k}$  olması durumunda yer olmayan yüzey olarak belirlenir. Çeşitli boyutlardaki bina nesnesi yavaş yavaş artırılan eşik değer ile tekrarlanarak uygulanan genleşme işlemi ile tespit edilmektedir. Burada pencere boyutu en büyük binanın boyutunu geçmemesi gerekmektedir. Ağaçlardan dolayı ani yükseklik değişimi olan yerlerde yukarıda bahsedilen bina filtreleme işlemi uygulanarak bu ağaçların ortadan kaldırılması için kullanılır.

Şekil 3.2'de SAM oluşturmak için kullanılan ilerlemeli morfolojik filtre işlemleri ayrıntılı adımları ile gösterilmiştir. Pencere boyutunun lineer olarak artırılması arazi yüzeyindeki özneteliklerin korunmasına önemli bir avantaj sağlar.

Morfolojik filtre uygulandığında pencere boyutu ve yükseklik farkı eşik değeri seçimi iyi sonuçların elde edilmesi bakımından önemlidir. Pencere boyutu seçiminde direk çözüm yollarından biri pencere boyutunu aşağıdaki formülde olduğu gibi doğrusal olarak artırmaktır.

$$w_k = 2kb + 1 \quad (3.12)$$

Bu denklemde  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, M$  ve  $b$  ise başlangıç penceresidir. Maksimum pencere boyutu  $2Mb + 1$  ' e eşittir. Pencere boyutunu doğrusal olarak artırmanın avantajı topografi özelliklerin korunmasıdır. Ama bir alandaki yere ait olmayan objelerin tespiti için belirli bir zamanın geçmesi gerekmektedir. Alternatif olarak iterasyon sayısını azaltmak için pencere boyutu eksponensiyel olarak artırılabilir.

$$w_k = 2b^k + 1 \quad (3.13)$$

Bu ifadeye  $b$  eksponensiyel fonksiyonun tabanı;  $k = 1, 2, 3, \dots, M$  ve  $2b^M + 1$  değeri maksimum pencere boyutuna eşittir. Yükseklik farkı eşik değeri çalışma alanının eğimine göre belirlenebilir. Maksimum yükseklik farkı ( $dh_{\max(t),k}$ ) ile arazinin eğimi ( $s$ ) ve pencere boyutu ( $w_k$ ) arasında bir ilişki vardır:

$$s = \frac{dh_{\max(t),k}}{(w_k - w_{k-1}) / 2} \quad (3.14)$$

Bu ifadeye göre  $dh_{T,k}$  şu şekilde olur:

$$dh_{T,k} = \left\{ \begin{array}{ll} dh_0, & \text{if } w_k \leq 3 \\ s(w_k - w_{k-1})c + dh_0, & \text{if } w_k > 3 \\ dh_{\max}, & \text{if } dh_{T,k} > dh_{\max} \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

Burada  $dh_0$  başlangıç yükseklik farkı eşik değeri;  $s$  eğim;  $c$  hücre boyutu;  $dh_{\max}$  maksimum yükseklik farkı eşik değeridir.

Şehir içindeki arazide, araziye ait olmayan objeler araba, ağaç ve binadır. Ağaç ve arabanın boyutu binanın boyutuna kıyaslandığında çok küçüktür. Bu yüzden filtre uygulanmaya başlandıktan birkaç iterasyon sonra bu objeler ortadan kalkmaktadır. Büyük binalar ise en son ortadan kalkar. Maksimum yükseklik farkı eşik değeri  $dh_{max}$  yükseklik değeri olarak ayarlanabilir. Örneğin  $dh_{max}$  en düşük yüksekliğe sahip binanın yüksekliği olabilir. Optimum s değeri ise genelde iteratif olarak filtrelenmiş ve filtrelenmemiş verinin karşılaştırılması ile elde edilir.

İlerlemeli morfolojik filtre 1B ve 2B olarak pencere yapısına göre ayrılır. 2B filtrenin şekli dikdörtgen ya da daire olurken, 1B filtre çizgi parçası şekline sahip olur. Algoritma 1B ve 2B olması ile çok fark etmez.

Bu bölüm sonucunda SYM verisi üzerinde araziye ait olmayan yerlerin elendiği SAM elde edilmiştir. Bu maskenin tersi alınarak belirlenmiş minimum bina boyutu eşik değeri uygulanmıştır. Çıkan sonuç diğer bölüme aktarılmıştır.

### 3.1.3 Gölge bulma

Gölge tespiti algoritması olarak [28] çalışması kullanılmıştır. Bu yöntemde yakın kızılötesi, kırmızı ve yeşil bantlar kullanılmış ve HSI renk uzayına çevrilerek sahte renkli görüntü üretilmiştir. [29] Fark haritası aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır. Bu denklemde  $S$  normalize edilmiş satürasyon,  $I$  ise normalize edilmiş yoğunluktur.

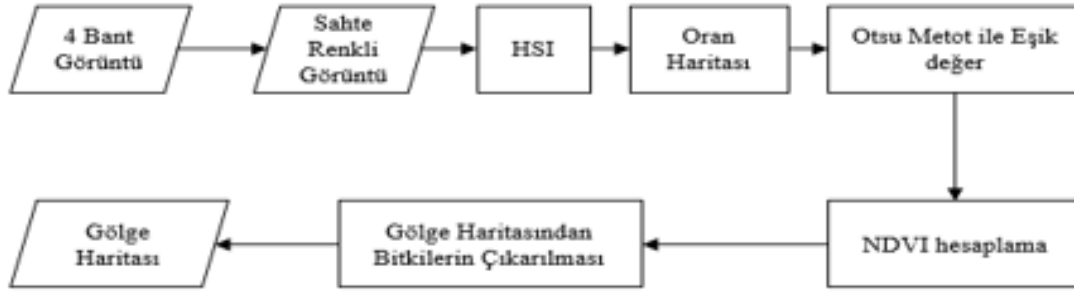
$$S - I \quad (3.16)$$

Karanlık ve bitki objelerinin S-I değeri aynıdır. Bu alanların ayrılabilmesi için Oran Haritası hesaplanmıştır. Denklemsel ifadesi aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{S - I}{S + I} \quad (3.17)$$

Oran haritasının Histogram dağılımı Otsu yöntemine [49] verilerek otomatik eşik değer bulunmuştur. Bu eşik değeri kullanılarak bitki ve gölge olan yerler bulunmuştur. NDVI değeri hesaplanarak bitki olan yerler elenmiş ve sadece gölge olan yerler

bulunmuştur. Gölge bulma iş akışı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Gölge bulma yöntemi.

### 3.1.4 NDVI hesaplama

Bu çalışmada başlangıç noktalarının doğruluğunu arttırmak için NDVI haritası ile bitki olan yerlerin [30] elenmesi sağlanmıştır.

Görünü işleme teknolojilerinde bitki örtüsünün tespiti çalışmalarında en çok kullanılan ve veri tipi Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI ) dir. Bu indeks hesaplanırken uydu görüntülerinin yakın kızıl ötesi (NIR) ve kırmızı (RED) bantları kullanılır.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (3.18)$$

NDVI değeri bu matematiksel ifadeden de anlaşılacağı üzere (-1) ile (1) değeri arasında değişmektedir. Yeşil bitki yoğun olduğu alanlarda değeri +1'e doğru yaklaşırken, bulutlar, su ve kar olduğu zaman (-1)' e yakın NDVI indeks değerlerine sahip olur [31].

Bu indeks haritası üzerinde bitki olan yere denk gelen başlangıç noktaları elenmiş ve nihai bina başlangıç noktaları tespit edilmiştir.

### 3.2 Uzaklık Haritasının Hesaplanması

Binaların olduğu yerler bir önceki adımda piksel grubu (bina maskesi) olarak belirlenmişti. Ancak bu maske içerisinde yüksekliği fazla olan bitkiye ait pikseller de

yer almaktadır. Görüntü üzerinde bitkiye ait olan bu yerlerin elenmesi için NDVI yardımı ile bitki haritası elde edilir. Bu harita yardımı ile maske içerisindeki bitki pikselleri elenir. Daha sonraki adımda elde kalan piksellerden diğer piksellere olan geodezik mesafeler hesaplanır ve bir mesafe haritası elde edilmiş olur. Geodezik mesafesini hesaplamak için bir çizge oluşturulur. Bu çizgenin köşeleri pikselleri temsil eder ve her bir piksel en yakın dört komşusuna bir kenar ile bağlanır. Kenarlar komşu piksellerin yükseklik farkı ile orantılı olarak ağırlıklandırılır. Çizge oluşturulduktan sonra kaynak piksellerden (maskeye ait pikseller) diğer piksellere olan geodezik mesafeler dijkstra [33] kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemin çalışması bir sonraki bölümde anlatılmıştır. Geodezik mesafe hesaplandıktan sonra gölgeye ve bitkiye ait olan piksellere (bunlar arka planı temsil ettiği için ) yüksek mesafe değerleri atanır.

### 3.2.1 Dijkstra metodu

Dijkstra algoritması [34], E. W. Dijkstra tarafından bulunmuştur. Eski olmasına rağmen Dijkstra algoritması hala başarılıdır. Bir çizge içerisindeki iki nokta arasındaki en uygun yolun hesaplanmasını sağlar. Bir çizge  $G(V, E)$  için tek kaynaklı en kısa yolu hesaplayan bir algoritmadır. Burada ifade edilen en uygun yol kavramı ile duruma göre 'en kısa', 'en ucuz' veya 'en hızlı yol' anlamları düşünülebilir. Bu durumda çizge üzerinde yer alan bağlantılar için kullanılan değerler önem taşımaktadır. Dijkstra algoritmasında kaynak olarak bağlı, ağırlıklı ve ağırlık değerlerinin tamamı pozitif olan bir çizge kullanılmaktadır. Algoritma sonuç değer olarak iki nokta arasındaki en kısa yolu vermektedir ve bu konu ile ilgili [40]'de bahsedilen adımlar aşağıda belirtilmiştir.

1. *Kaynak düğümü seç.*
2. *S düğümler dizisi tanımla ve boş diziyi sıfırla. Algoritma süreci içerisinde en kısa yolu veren düğümler S dizisi içerisine kayıt edilecektir*
3. *Kaynak düğümü 0 olarak etiketle ve S dizisi içerisine ekle.*
4. *Yeni eklenen düğüme bir kenarla bağlanmış olan S dizisi içerisinde olmayan her düğümü göz önünde bulundur. S içinde olmayan düğümü, yeni eklenen düğüm etiketi kenar uzunluğuyla beraber etiketle.*
5. *S içinde olmayan düğümü, en küçük etiket değeriyle al ve S dizisine ekle. 6. Adım*

4'e git (hedef düğüm S dizisi içerisinde olana kadar veya etiketsiz düğüm kalmayana kadar)

### 3.3 Ön Plan/Arka Plan Belirleme

Bir önceki adımda bulunan mesafe haritasının normalize edilmiş hali tüm görüntülerde incelendiğinde yüksek bölgelerin mesafe değerlerinin  $Tcf = 0.02$  değerinden küçük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre mesafe değeri  $Tcf$  'den küçük olan pikseller kesin olarak binaya ait (ön plan) olarak etiketlenmiştir. Sonraki adımda ön plan olarak etiketlenen piksellerin ortalama yükseklik değerleri,  $\mu_f$  hesaplanmıştır. Ek olarak, ön plan ve NDVI maskesi dışında kalan alanların ortalama değerleri,  $\mu_b$ 'leri hesaplanmıştır. Sonrasında bulunan iki ortalama değerinin ortalaması,  $\mu_l$  alınmıştır. Eğer bir pikselin yükseklik değeri hesaplanan  $\mu_l$  değerinden büyükse ve daha önceden etiketlenmemiş ise olası ön plan olarak etiketlenmiştir. Diğer yandan  $\mu_b$  yükseklik değerinden küçük olan pikseller kesin arka plan olarak etiketlenmiştir. Geri kalan pikseller olası arka olan olarak belirlenmiştir. Böylece çizge-kesme eniyilemesi için gerekli olan ön plan/arka plan maskesi elde edilmiş olur.

### 3.4 Çizge Kesme Eniyilemesi

Bu bölümde üretilen ön plan/ arka plan maskesi kullanılarak bina sonucunun üretilmesi için uygulanan çizge-kesme eniyilemesinin detaylı anlatımı yer almaktadır. Çizge-kesme eniyilemesi ile algoritma adımları tamamlanmaktadır.

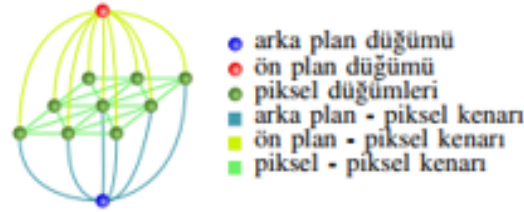
Çizge kesme yöntemi ilk olarak Boykov ve arkadaşları tarafından 2001 yılında önerilmiş [1] ve birçok sınıflandırma çalışmasında oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Sınıflandırma yöntemleri genelde maliyet fonksiyonuna dayanır ve bu fonksiyonun maliyetini en aza indirmeyi hedefler. Aşağıdaki formülde de görüldüğü üzere bu algoritma da maliyet fonksiyonunun minimize etmeye çalışmaktadır.

Bu matematiksel ifade de P görüntüdeki pikselleri ifade eder. N ise komşu piksellere

$$E(L) = \sum_{p_i \in P} R_{L_i}(p_i) + \lambda \sum_{(p_i, p_j) \in N} B(p_i, p_j) |L_i - L_j| \quad (3.19)$$

ait kümedir.  $\lambda$  düzleştirme katsayısı  $L = (L_i)$  her piksele karşılık gelen ön plan/ arka

plan ikilisini ifade eden  $(L_i \in F | L_i \in B)$  sınıf vektörü  $R_{L_i}(p_i)$  piksellere göre değişen bölgesel maliyet ifadesi,  $B(p_i, p_j)$  komşu piksellerin sınır maliyet ifadesidir. Bu ifade de  $R_{L_i}(p_i)$  (veri terimi) ifadesinde  $R$  genel olarak bir pikselin tek başına önceden belirlenmiş ön plan ya da arka plan modeline uyumluluğunu göstermektedir.  $B$  (düzlük terimi) ise komşu piksel benzerliğini ifade eder.



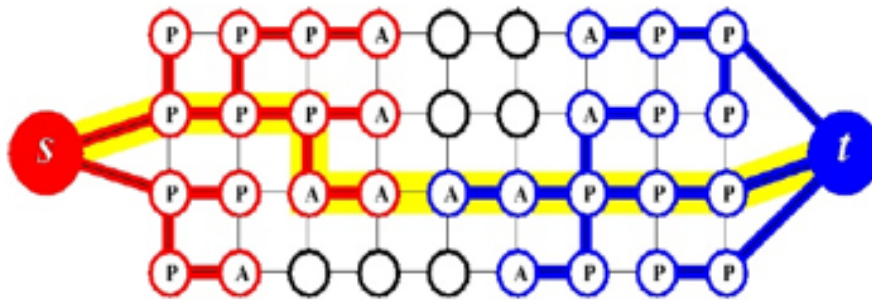
Şekil 3.7 : Çizge kesimi için oluşturulan çizge [49].

Şekil 3.7’de görüldüğü üzere her piksele düğüm olarak tanımlandığı bir çizge oluşturulmaktadır. Bu çizgede ön plan ve arka plan bağlanma yerlerini ifade eden yardımcı düğümler de yer almaktadır. Veri terimi yardımcı düğümler ile piksel düğümü arasında kalan kenara verilen isimdir. Düğümler arasında kalan kenarlara düzlük terimi denir. Bu çizgeye göre iki yardımcı düğümün farklı tarafta kalması sağlanacak şekilde ikiye ayırma işlemi kesit olarak ifade edilmektedir. Kesitin kopardığı bağlantı enerjilerinin toplamı kesit enerjisidir. Bu sınıflandırma yöntemi bu enerjinin en küçük olmasını hedefler. Denklem 3.19’ da  $E$  ifadesini küçülten bu en küçük enerjiye literatürde en küçük kesit-en büyük akış algoritması olarak adlandırılır.

Boykov ve arkadaşlarının geliştirdiği en büyük akış / en küçük kesme probleminin çözüm olan yöntem kökleri  $s$  (ön plan) düğümü ve  $t$  ( arka plan ) düğümü olan çakışmayan iki ayrı arama ağacı oluşturmaktadır.  $S$  ve  $T$  dışındaki düğümler serbest düğüm olarak etiketlenmektedir. Düğümler aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Dış sınır düğümleri aktif düğüm, içteki düğümler ise pasif düğümdür.  $S$  ağacında ebeveynden çocuklara doğru giden kenarlar doymamış,  $T$  ağacında çocuktan ebeveyne doğru giden kenarlar doymamıştır. Aktif düğümler doymamış yoldan giderek yeni dallar edinir ve ağacı genişletir ve yol bulana kadar büyümeye devam eder. Bulunan yolar ile çoğalma gerçekleşir ve ağaçlardan orman elde edilir. Sonraki adımda ise arama ağaçları yenilenir. Büyüme, çoğalma ve yenileme adımları yinelemeli olarak

tekrar eder.

Büyüme ağaçların genişlediği ve aktif düğümlerin doymamış komşu kenar ile serbest düğümlerden yeni dallar oluşturur. Her yeni düğümler arama ağaçlarının aktif düğümleri olur. Eğer bir aktif düğümün komşu düğümlerinden keşfedilmeyen kalmazsa düğüm pasif düğüm olur. Şekil 3.8’de görüldüğü üzere ağaçlar arasında düğüm bağlantısı sağlandığında büyüme durur. Bu şekilde kaynak hedef arasında yol oluşur.



Şekil 3.8 : Maksimum akışı sağlayan yolun gösterimi [1].

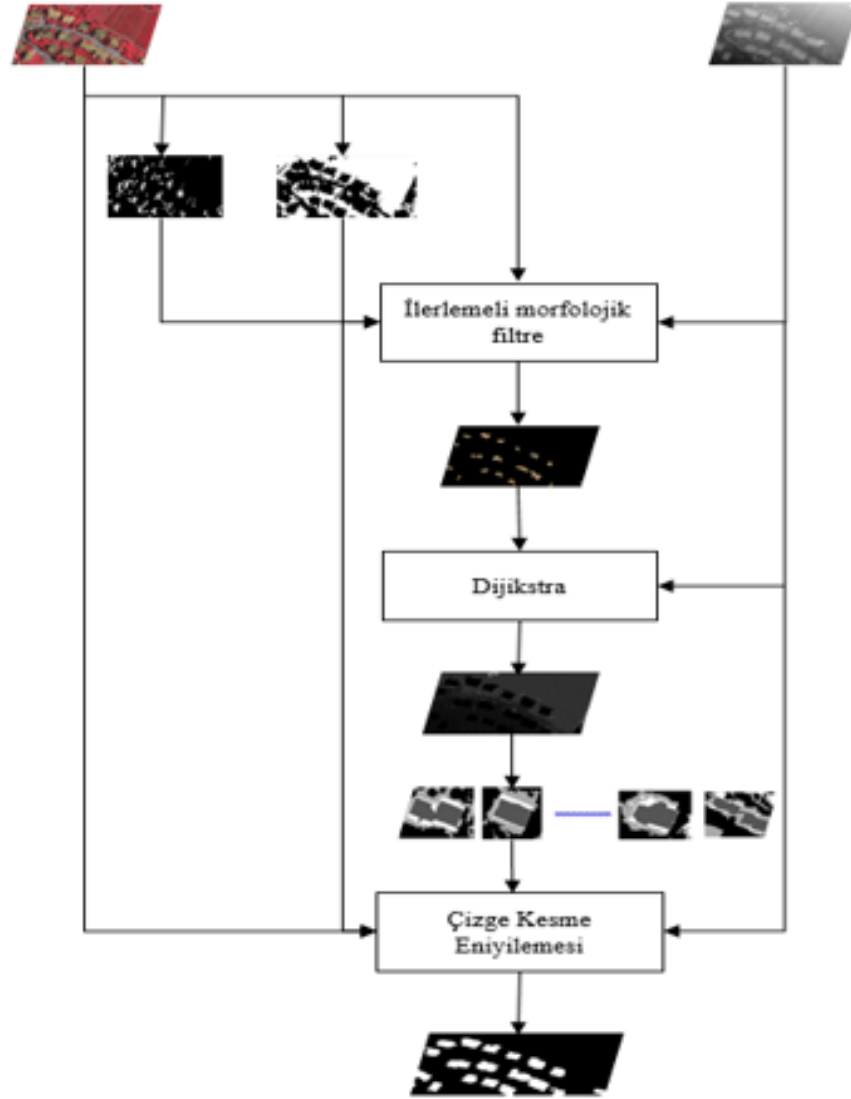
Büyüme aşamasında elde edilen yollar çoğalma adımında artırılır. Böylece en fazla akışın sağlanması mümkün olabilecek ve bazı düğümler doymuş hale gelecektir. Bu yüzden bazı düğümler sahihsiz kalmaktadır ve artık geçerli olmamaktadır.

Edinme aşamasında boşta kalan düğümler ile bir önceki adımda sahihsiz kalan düğümlere yeni ebeveynler bulunur. Yeni ebeveyne kimsesiz düğüm üzerinden bağlanılamazsa, bu düğüm serbest olarak işaretlenir. Edinme bölümü kimsesiz düğüm kalmayıncaya kadar devam eder. Edinme aşamasından sonra büyüme aşamasına geri dönülür. Yinelemeli adımlar en büyük akış sağlanana kadar devam eder. Bunun yanında en küçük kesme ( $S$  ve  $T$  kümelerine bağlı) düğümleri tespit edilir.



#### 4. ALGORİTMA SONUÇLARI

Önerilen yöntemin iş akışı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde aynı iş akışının görsel sonuçlar ile ifade edildiği görülebilir. Bölüm 4.2 ve 4.3’ de yer alan şekillerde bu iş akışının Potsdam ve Vaihingen veri kümelerinden seçilmiş bazı örnekler için sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Algoritmanın tüm adımlarının görsel sonuçları.

## 4.1 Kullanılan Veri Setleri

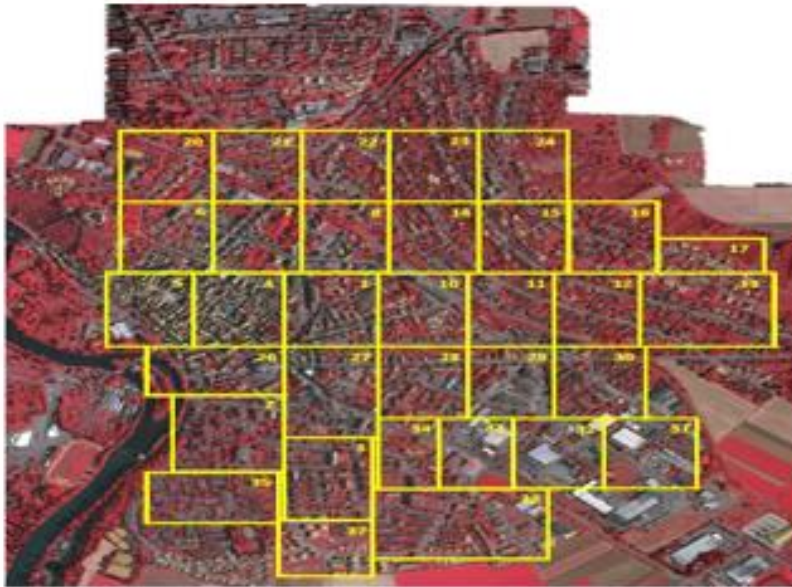
Bu tez kapsamında geliştirilen yöntem iki veri setinde test edilmiştir. Bu veri setleri [41] bina bulma çalışmalarında oldukça yaygın kullanılmaktadır.

### 4.1.1 Vaihingen test verisi

Kullanılan verilerin ilki Almanya'nın Vaihingen bölgesinden elde edilmiştir [1]. Bu bölgeden oluşan görüntü kümesi 38 ayrı bölünmüş alan içerir. Görüntüler 9 cm çözünürlüklü 3 bantlıdır. Veri seti içerisinde görüntü dışında Sayısal Arazi Modeli yer almaktadır. Bu veri de görüntü ile aynı çözünürlüğe sahiptir. Bu iki veri dışında 38 bölgenin 17 bölgesine ait Arazi Doğruluk verileri de mevcuttur.

Çizelge 4.1 : Vaihingen verisi uçuş parametreleri.

Kamera	Odak Uzaklığı	Yerden uçuş Yüksekliği	Arazi Örnekleme Mesafesi	Spektral Bantlar	Radyometrik Çözünürlük
DMC	120 mm	900 m	8 cm	IR-R-G	11 bit



Şekil 4.2 : Vaihingen test verisi ayrılmış çalışma bölgeleri.

TOP	DSM	$N_{col}$	$N_{row}$	GT
top_mosaic_09cm_area1	dsm_09cm_matching_area1	1919	2569	top_mosaic_09cm_area1
top_mosaic_09cm_area2	dsm_09cm_matching_area2	2428	2767	
top_mosaic_09cm_area3	dsm_09cm_matching_area3	2006	3007	top_mosaic_09cm_area3
top_mosaic_09cm_area4	dsm_09cm_matching_area4	1887	2557	
top_mosaic_09cm_area5	dsm_09cm_matching_area5	1887	2557	top_mosaic_09cm_area5
top_mosaic_09cm_area6	dsm_09cm_matching_area6	1887	2557	
top_mosaic_09cm_area7	dsm_09cm_matching_area7	1887	2557	top_mosaic_09cm_area7
top_mosaic_09cm_area8	dsm_09cm_matching_area8	1887	2557	
top_mosaic_09cm_area10	dsm_09cm_matching_area10	1887	2557	
top_mosaic_09cm_area11	dsm_09cm_matching_area11	1893	2566	top_mosaic_09cm_area11
top_mosaic_09cm_area12	dsm_09cm_matching_area12	1922	2575	
top_mosaic_09cm_area13	dsm_09cm_matching_area13	2818	2558	top_mosaic_09cm_area13
top_mosaic_09cm_area14	dsm_09cm_matching_area14	1919	2565	
top_mosaic_09cm_area15	dsm_09cm_matching_area15	1919	2565	top_mosaic_09cm_area15
top_mosaic_09cm_area16	dsm_09cm_matching_area16	1919	2565	
top_mosaic_09cm_area17	dsm_09cm_matching_area17	2336	1281	top_mosaic_09cm_area17
top_mosaic_09cm_area20	dsm_09cm_matching_area20	1866	2315	
top_mosaic_09cm_area21	dsm_09cm_matching_area21	1903	2546	top_mosaic_09cm_area21
top_mosaic_09cm_area22	dsm_09cm_matching_area22	1903	2546	
top_mosaic_09cm_area23	dsm_09cm_matching_area23	1903	2546	top_mosaic_09cm_area23
top_mosaic_09cm_area24	dsm_09cm_matching_area24	1903	2546	
top_mosaic_09cm_area26	dsm_09cm_matching_area26	2995	1783	top_mosaic_09cm_area26
top_mosaic_09cm_area27	dsm_09cm_matching_area27	1917	3313	
top_mosaic_09cm_area28	dsm_09cm_matching_area28	1917	2567	top_mosaic_09cm_area28
top_mosaic_09cm_area29	dsm_09cm_matching_area29	1917	2563	
top_mosaic_09cm_area30	dsm_09cm_matching_area30	1934	2563	top_mosaic_09cm_area30
top_mosaic_09cm_area31	dsm_09cm_matching_area31	1980	2555	
top_mosaic_09cm_area32	dsm_09cm_matching_area32	1980	2555	top_mosaic_09cm_area32
top_mosaic_09cm_area33	dsm_09cm_matching_area33	1581	2555	
top_mosaic_09cm_area34	dsm_09cm_matching_area34	1388	2555	top_mosaic_09cm_area34
top_mosaic_09cm_area35	dsm_09cm_matching_area35	2805	1884	
top_mosaic_09cm_area37	dsm_09cm_matching_area37	1996	1995	top_mosaic_09cm_area37
top_mosaic_09cm_area38	dsm_09cm_matching_area38	3816	2550	

Şekil 4.3 : Vaihingen ayrılmış verilerinin listesi ve bilgileri. (TOP: görüntü isimleri. DSM: yükseklik verileri isimleri. Nrow ve Ncol: Satır ve sütun sayıları. GT: Yer doğruluk verisi isimleri).

#### 4.1.2 Potsdam test verisi

İkinci kullanılan veri seti ise Almanya'nın Potsdam bölgesine ait 38 ayrı test bölgesini içeren görüntü kümeleridir [1]. Bu görüntülerin boyutları aynıdır. Çözünürlük değeri ise 5 cm'dir. Bu veri içerisinde 3 farklı görüntü yer almaktadır. Bunlar:

IRRG; 3 bant (IR-R-G bantlarını sırası ile içerir).

RGB: 3 bant (R-G-B bantlarını sırası ile içerir.)

RGBIR: 4 bant (R-G-B-IR bantlarını sırası ile içerir).

Görüntü dışında görüntüyle örtüşen ve görüntünün yükseklik bilgisini içeren Sayısal Arazi Modelleri de bulunmaktadır. Bu SAM'nin çözünürlük değeri görüntü ile aynıdır. 38 test alanının 24 tanesine ait arazi doğruluk haritası da bulunmaktadır.



Şekil 4.4 : Potsdam test verisi ayrılmış çalışma bölgeleri.

#### 4.2 Vaihingen Test Sonuçları

Bu veri ile yapılan testler sonucunda oluşan çıktılar bir sonraki bölümlerde gösterilmektedir. Yapılan testler sonucunda bu veri setinde performans metriği olarak f-ölçüm değeri Denklem 4.3' de gösterilen formülle 17 görüntü için hesaplanmıştır. Bu f-ölçümü değerlerinin ortalaması 0.8893 ve standart sapması 0.0521'dir.

TOP RGBIR	TOP IRRG	TOP RGB	DSM	GT
top_potsdam_2_10_RGBIR	top_potsdam_2_10_IRRG	top_potsdam_2_10_RGB	dsm_potsdam_02_10	top_potsdam_2_10_label
top_potsdam_2_11_RGBIR	top_potsdam_2_11_IRRG	top_potsdam_2_11_RGB	dsm_potsdam_02_11	top_potsdam_2_11_label
top_potsdam_2_12_RGBIR	top_potsdam_2_12_IRRG	top_potsdam_2_12_RGB	dsm_potsdam_02_12	top_potsdam_2_12_label
top_potsdam_2_13_RGBIR	top_potsdam_2_13_IRRG	top_potsdam_2_13_RGB	dsm_potsdam_02_13	
top_potsdam_2_14_RGBIR	top_potsdam_2_14_IRRG	top_potsdam_2_14_RGB	dsm_potsdam_02_14	
top_potsdam_3_10_RGBIR	top_potsdam_3_10_IRRG	top_potsdam_3_10_RGB	dsm_potsdam_03_10	top_potsdam_3_10_label
top_potsdam_3_11_RGBIR	top_potsdam_3_11_IRRG	top_potsdam_3_11_RGB	dsm_potsdam_03_11	top_potsdam_3_11_label
top_potsdam_3_12_RGBIR	top_potsdam_3_12_IRRG	top_potsdam_3_12_RGB	dsm_potsdam_03_12	top_potsdam_3_12_label
top_potsdam_3_13_RGBIR	top_potsdam_3_13_IRRG	top_potsdam_3_13_RGB	dsm_potsdam_03_13	
top_potsdam_3_14_RGBIR	top_potsdam_3_14_IRRG	top_potsdam_3_14_RGB	dsm_potsdam_03_14	
top_potsdam_4_10_RGBIR	top_potsdam_4_10_IRRG	top_potsdam_4_10_RGB	dsm_potsdam_04_10	top_potsdam_4_10_label
top_potsdam_4_11_RGBIR	top_potsdam_4_11_IRRG	top_potsdam_4_11_RGB	dsm_potsdam_04_11	top_potsdam_4_11_label
top_potsdam_4_12_RGBIR	top_potsdam_4_12_IRRG	top_potsdam_4_12_RGB	dsm_potsdam_04_12	top_potsdam_4_12_label
top_potsdam_4_13_RGBIR	top_potsdam_4_13_IRRG	top_potsdam_4_13_RGB	dsm_potsdam_04_13	
top_potsdam_4_14_RGBIR	top_potsdam_4_14_IRRG	top_potsdam_4_14_RGB	dsm_potsdam_04_14	
top_potsdam_4_15_RGBIR	top_potsdam_4_15_IRRG	top_potsdam_4_15_RGB	dsm_potsdam_04_15	
top_potsdam_5_10_RGBIR	top_potsdam_5_10_IRRG	top_potsdam_5_10_RGB	dsm_potsdam_05_10	top_potsdam_5_10_label
top_potsdam_5_11_RGBIR	top_potsdam_5_11_IRRG	top_potsdam_5_11_RGB	dsm_potsdam_05_11	top_potsdam_5_11_label
top_potsdam_5_12_RGBIR	top_potsdam_5_12_IRRG	top_potsdam_5_12_RGB	dsm_potsdam_05_12	top_potsdam_5_12_label
top_potsdam_5_13_RGBIR	top_potsdam_5_13_IRRG	top_potsdam_5_13_RGB	dsm_potsdam_05_13	
top_potsdam_5_14_RGBIR	top_potsdam_5_14_IRRG	top_potsdam_5_14_RGB	dsm_potsdam_05_14	
top_potsdam_5_15_RGBIR	top_potsdam_5_15_IRRG	top_potsdam_5_15_RGB	dsm_potsdam_05_15	
top_potsdam_6_7_RGBIR	top_potsdam_6_7_IRRG	top_potsdam_6_7_RGB	dsm_potsdam_06_07	top_potsdam_6_7_label
top_potsdam_6_8_RGBIR	top_potsdam_6_8_IRRG	top_potsdam_6_8_RGB	dsm_potsdam_06_08	top_potsdam_6_8_label
top_potsdam_6_9_RGBIR	top_potsdam_6_9_IRRG	top_potsdam_6_9_RGB	dsm_potsdam_06_09	top_potsdam_6_9_label
top_potsdam_6_10_RGBIR	top_potsdam_6_10_IRRG	top_potsdam_6_10_RGB	dsm_potsdam_06_10	top_potsdam_6_10_label
top_potsdam_6_11_RGBIR	top_potsdam_6_11_IRRG	top_potsdam_6_11_RGB	dsm_potsdam_06_11	top_potsdam_6_11_label
top_potsdam_6_12_RGBIR	top_potsdam_6_12_IRRG	top_potsdam_6_12_RGB	dsm_potsdam_06_12	top_potsdam_6_12_label
top_potsdam_6_13_RGBIR	top_potsdam_6_13_IRRG	top_potsdam_6_13_RGB	dsm_potsdam_06_13	
top_potsdam_6_14_RGBIR	top_potsdam_6_14_IRRG	top_potsdam_6_14_RGB	dsm_potsdam_06_14	
top_potsdam_6_15_RGBIR	top_potsdam_6_15_IRRG	top_potsdam_6_15_RGB	dsm_potsdam_06_15	
top_potsdam_7_7_RGBIR	top_potsdam_7_7_IRRG	top_potsdam_7_7_RGB	dsm_potsdam_07_07	top_potsdam_7_7_label
top_potsdam_7_8_RGBIR	top_potsdam_7_8_IRRG	top_potsdam_7_8_RGB	dsm_potsdam_07_08	top_potsdam_7_8_label
top_potsdam_7_9_RGBIR	top_potsdam_7_9_IRRG	top_potsdam_7_9_RGB	dsm_potsdam_07_09	top_potsdam_7_9_label
top_potsdam_7_10_RGBIR	top_potsdam_7_10_IRRG	top_potsdam_7_10_RGB	dsm_potsdam_07_10	top_potsdam_7_10_label
top_potsdam_7_11_RGBIR	top_potsdam_7_11_IRRG	top_potsdam_7_11_RGB	dsm_potsdam_07_11	top_potsdam_7_11_label
top_potsdam_7_12_RGBIR	top_potsdam_7_12_IRRG	top_potsdam_7_12_RGB	dsm_potsdam_07_12	top_potsdam_7_12_label
top_potsdam_7_13_RGBIR	top_potsdam_7_13_IRRG	top_potsdam_7_13_RGB	dsm_potsdam_07_13	

Şekil 4.5 Potsdam ayrılmış verilerinin listesi ve bilgileri(TOP RGBIR, TOP IRRG, TOP RGB farklı bant içerene görüntü isimleri. Her görüntü 6000x6000 piksel içerir. DSM: yükseklik verileri isimleri. GT: Yer doğruluk verisi isimleri)

$$\text{Kesinlik} = \frac{\{\text{İlgili getirim}\} \cap \{\text{bütün veri çıkarımı}\}}{\{\text{bütün veri çıkarımı}\}} \quad (4.1)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{\{\text{İlgili getirim}\} \cap \{\text{bütün veri çıkarımı}\}}{\{\text{İlgili veri çıkarımı}\}} \quad (4.2)$$

$$F - \text{ölçüm} = 2 \frac{\text{Kesinlik} \cdot \text{Hassasiyet}}{\text{Kesinlik} + \text{Hassasiyet}} \quad (4.3)$$

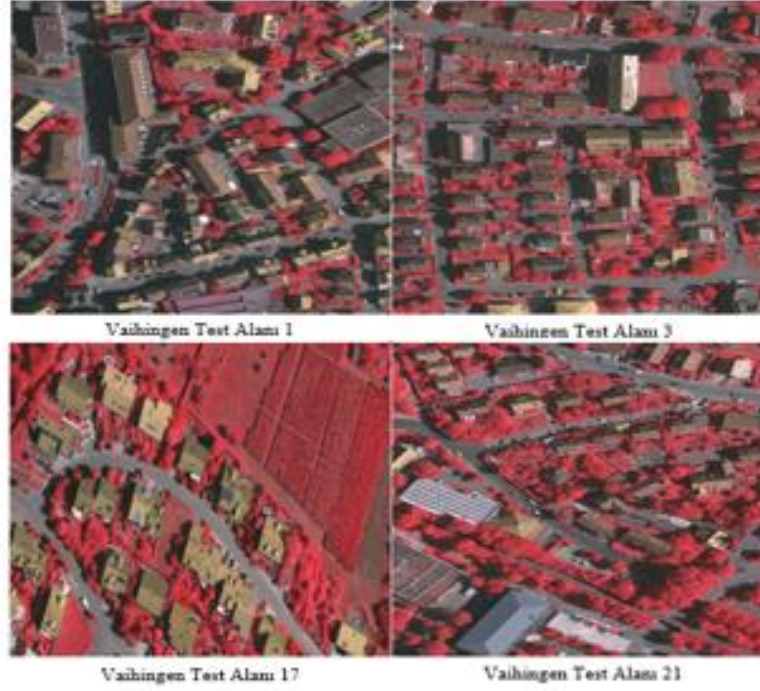
F-ölçüm literatürdeki diğer yöntemlerle performans karşılaştırmak açısından yaygın olması yüzünden tercih edilmiştir. Bunun dışında doğru bulunan bina sayısı için Jaccard indeks performans hesaplama metriği kullanılması düşünülmüştür. Bu indeks sonuç ile doğruluk haritasının benzerliğini belirlemektedir. Denklem 4.4'te ilgili indeksin hesaplama formülü gösterilmektedir.

$A = \text{doğruluk haritası görüntüsü}$   $B = \text{sınıflandırma sonucu}$

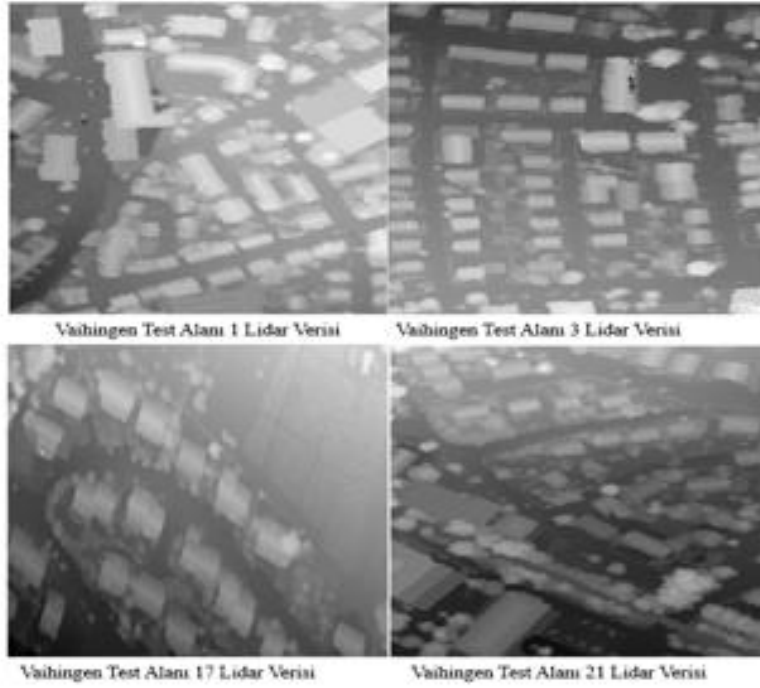
$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (4.4)$$

Bu metrik bu çalışmada tercih edilmemiştir. Bunun sebebi diğer çalışmalar ile karşılaştırma açısından kullanılamamasıdır. Ayrıca kullanılan veri kümelerinde bina doğruluk haritasında yan yana yer alan binaları tek bir bina maskesi gibi göstermektedir. Bu durumda Jaccard indeks ile yapılan hesaplamada benzerlik oranı çok düşük çıkmaktadır. Bu yüzden Hassasiyet ve Kesinlik'e göre farklı bir avantaj sağlayamamaktadır.

#### 4.2.1 Kullanılan görüntü ve LİDAR örnekleri

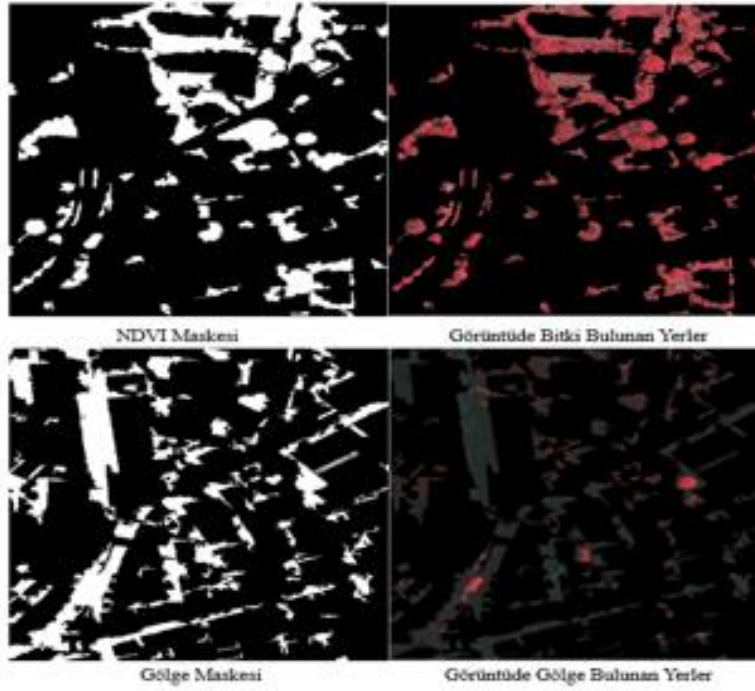


Şekil 4.6 : Örnek Vaihingen test alanları görüntüleri.

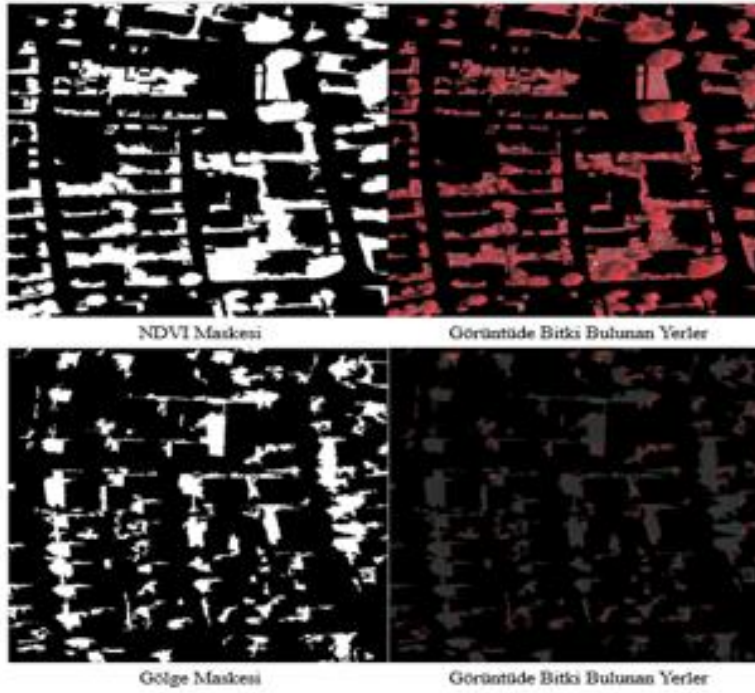


Şekil 4.7 : Örnek Vaihingen test alanları LİDAR verileri.

#### 4.2.2 Gölge ve NDVI sonuçları

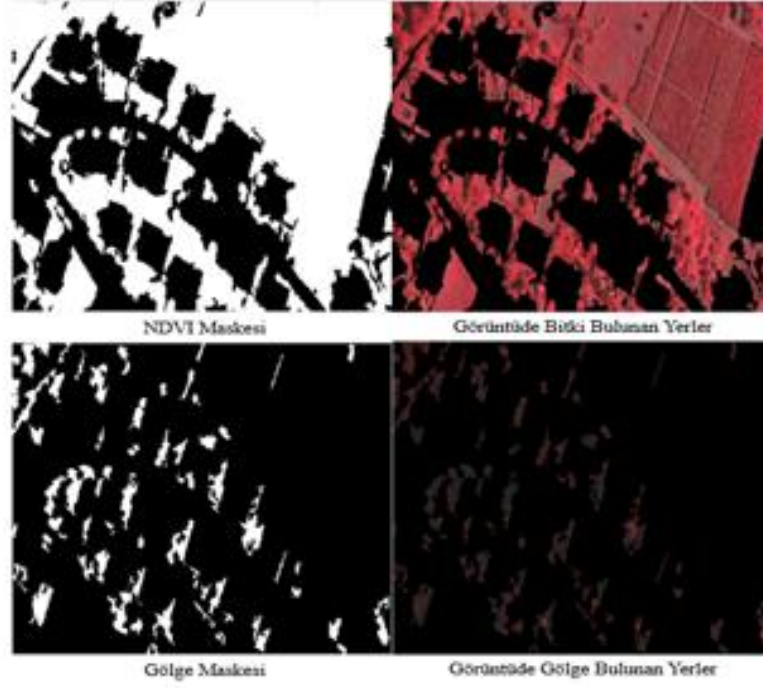


Şekil 4.8 : Vaihingen test alanı 1 NDVI ve gölge sonuçları maskesi.

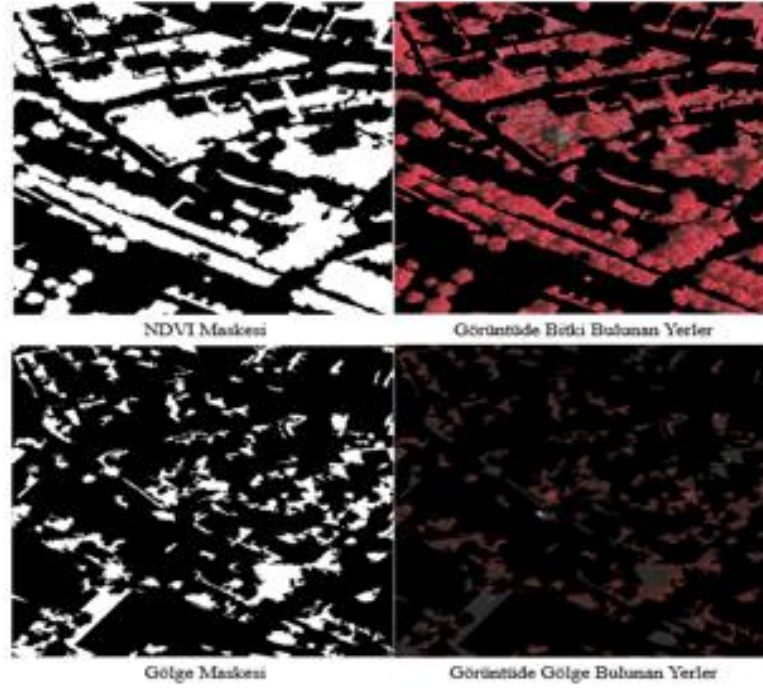


Şekil 4.9 : Vaihingen test alanı 3 NDVI ve gölge sonuçları.





Şekil 4.10 : Vaihingen test alanı 17 NDVI ve gölge sonuçları.

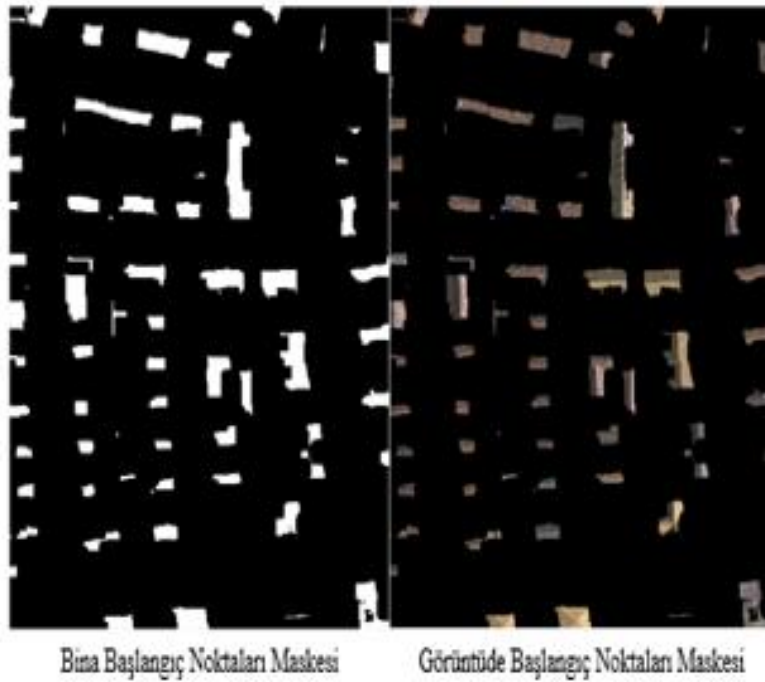


Şekil 4.11 : Vaihingen test alanı 21 NDVI ve gölge sonuçları.

### 4.2.3 Bina başlangıç noktalarını içeren maskeleri



Şekil 4.12 : Vaihingen test alanı 1 bina başlangıç noktaları.



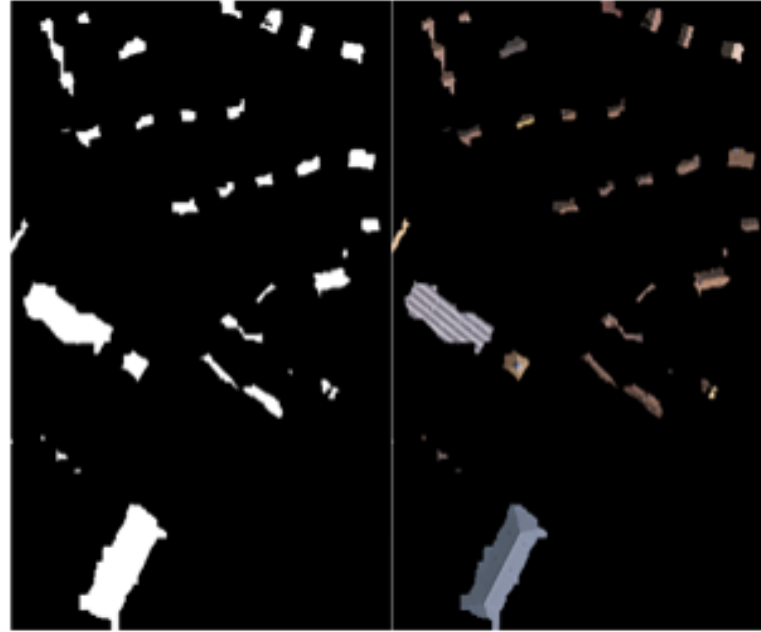
Şekil 4.13 : Vaihingen test alanı 3 bina başlangıç noktaları.



Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

Şekil 4.14 Vaihingen test alanı 17 bina başlangıç noktaları.

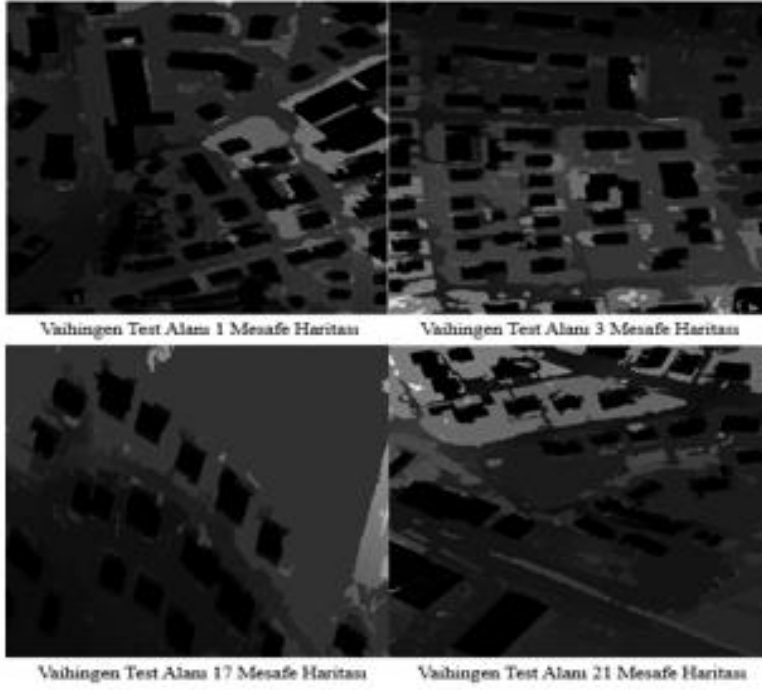


Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

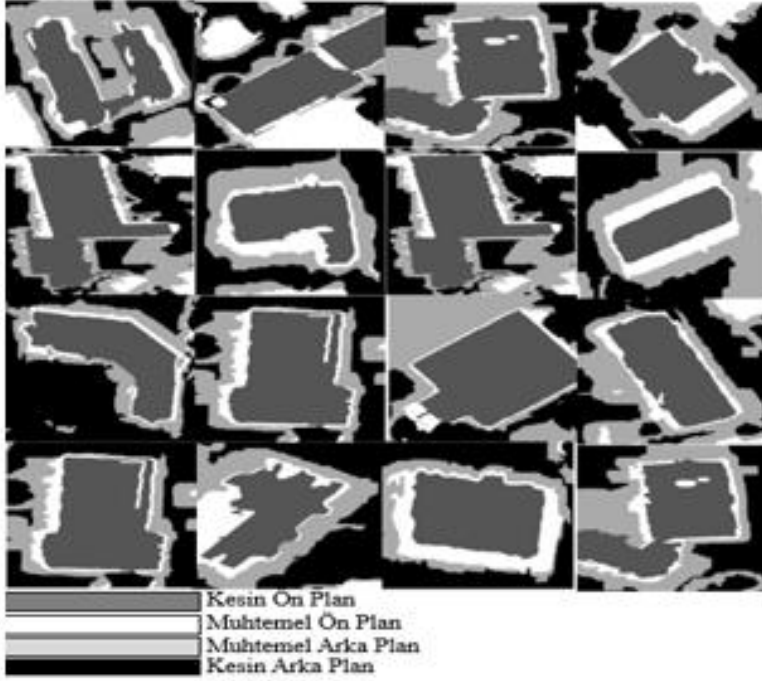
Şekil 4.15 Vaihingen test alanı 21 bina başlangıç noktaları.

#### 4.2.4 Mesafe haritası sonuçları

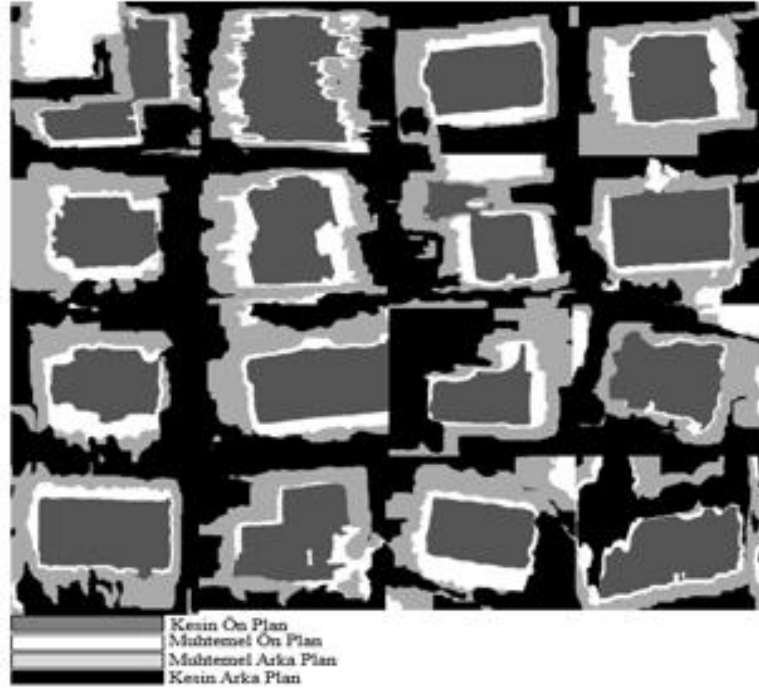


Şekil 4.16 : Örnek alanların mesafe haritaları.

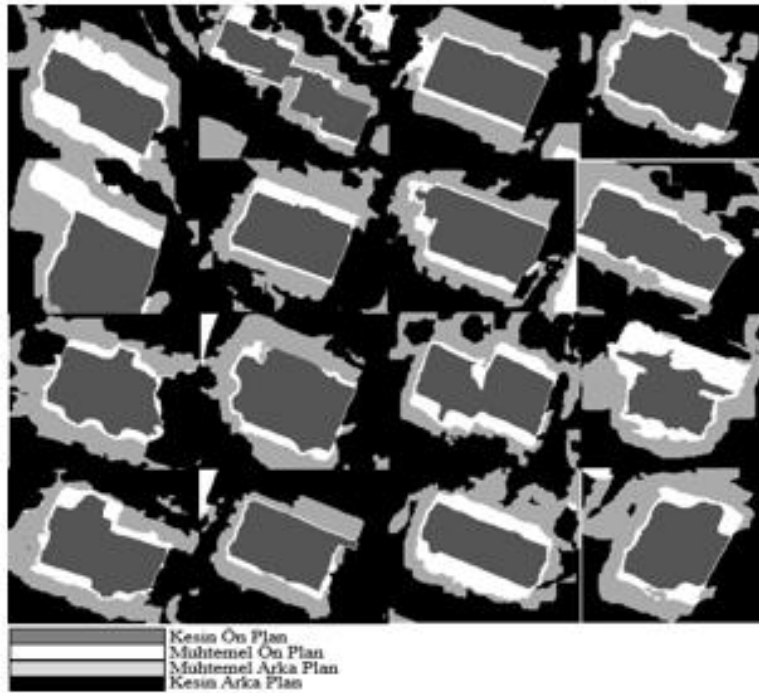
#### 4.2.5 Ön plan/arka plan maskesi sonuçları



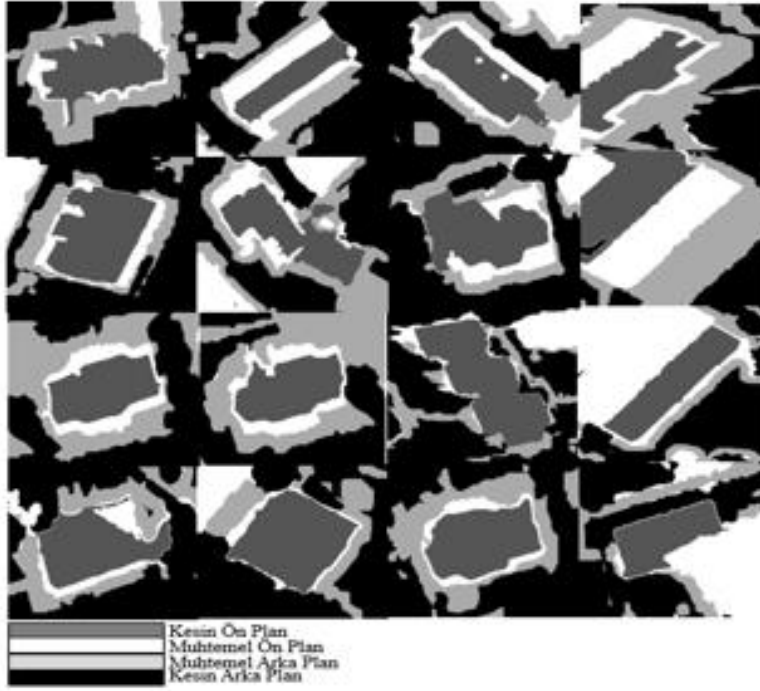
Şekil 4.17 : Vaihingen test alanı 1 ön plan /arka plan sonuçları.



Şekil 4.18 : Vaihingen test alanı 3 ön plan /arka plan sonuçları.

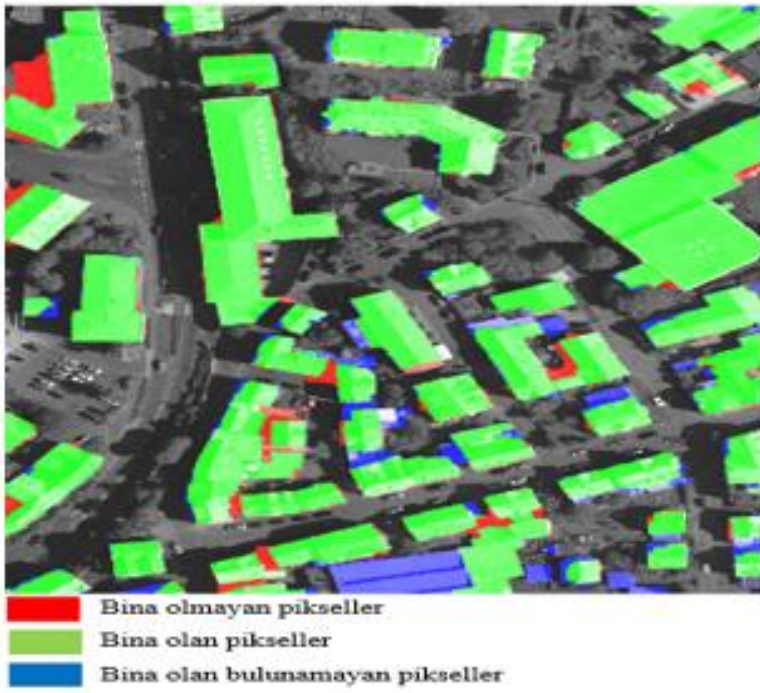


Şekil 4.19 : Vaihingen test alanı 17 ön plan /arka plan sonuçları.

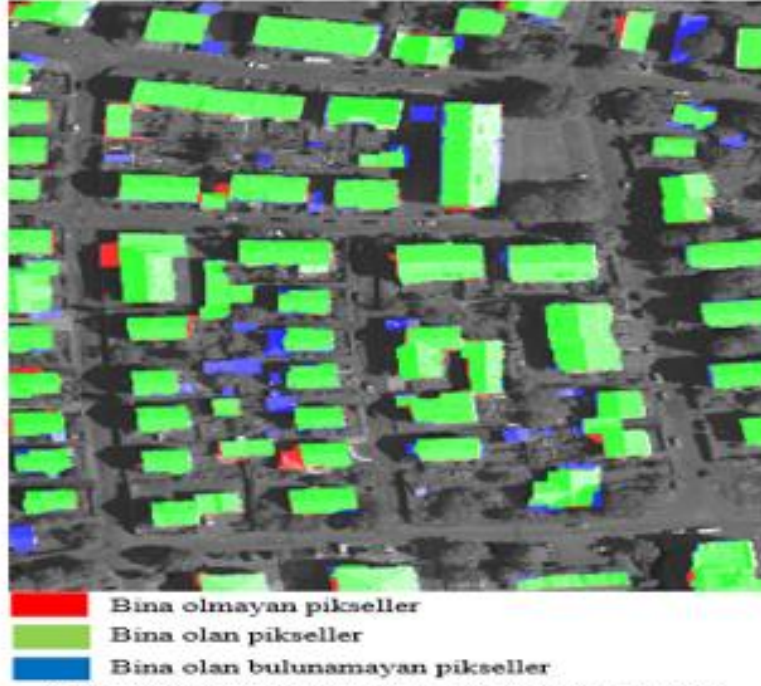


Şekil 4.20 : Vaihingen test alanı 21 ön plan /arka plan sonuçları.

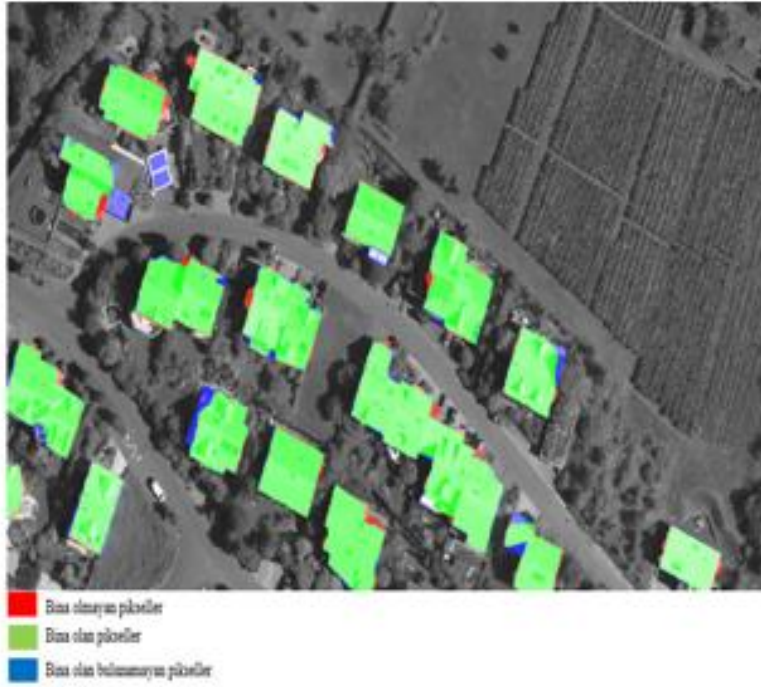
#### 4.2.6 Önerilen bina bulma algoritması sonuçları



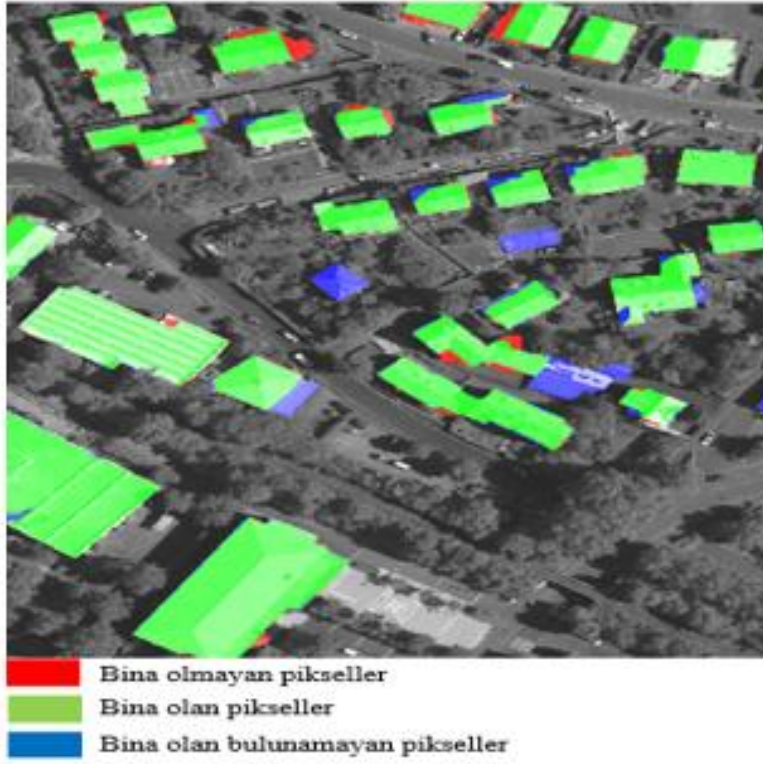
Şekil 4.21 : Vaihingen test alanı 1 algoritma sonucu.



Şekil 4.22 : Vaihingen test alanı 3 algoritma sonucu.



Şekil 4.23 : Vaihingen test alanı 17 algoritma sonucu.



Şekil 4.24 : Vaihingen test alanı 21 algoritma sonucu.

### 4.3 Potsdam Test Sonuçları

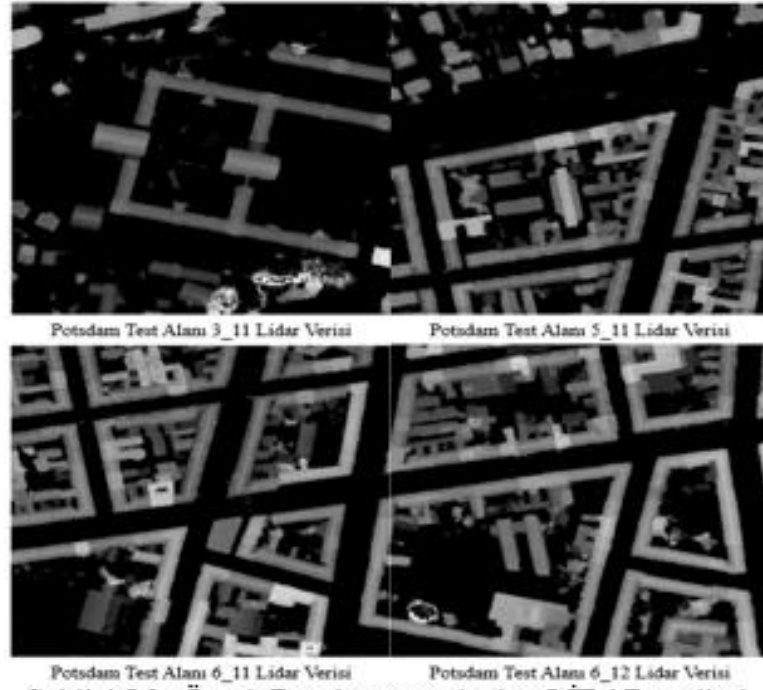
Bu veri ile yapılan testler sonucunda oluşan çıktılar bir sonraki bölümlerde gösterilmektedir. Yapılan testler sonucunda bu veri setinde  $f$ -ölçüm değeri Denklem 4.3'te gösterilen formüle göre 24 görüntü için hesaplanmıştır. Bu  $f$ -ölçümü değerlerinin ortalaması 0.8815 ve standart sapması ise 0.1071'dir.



### 4.3.1 Kullanılan görüntü ve LİDAR örnekleri

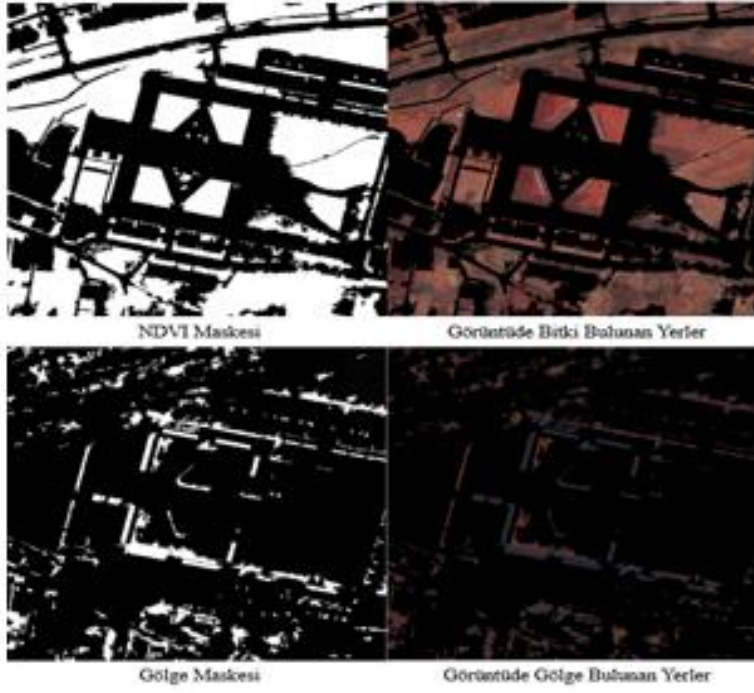


Şekil 4.25: Örnek Potsdam test alanları görüntüleri.

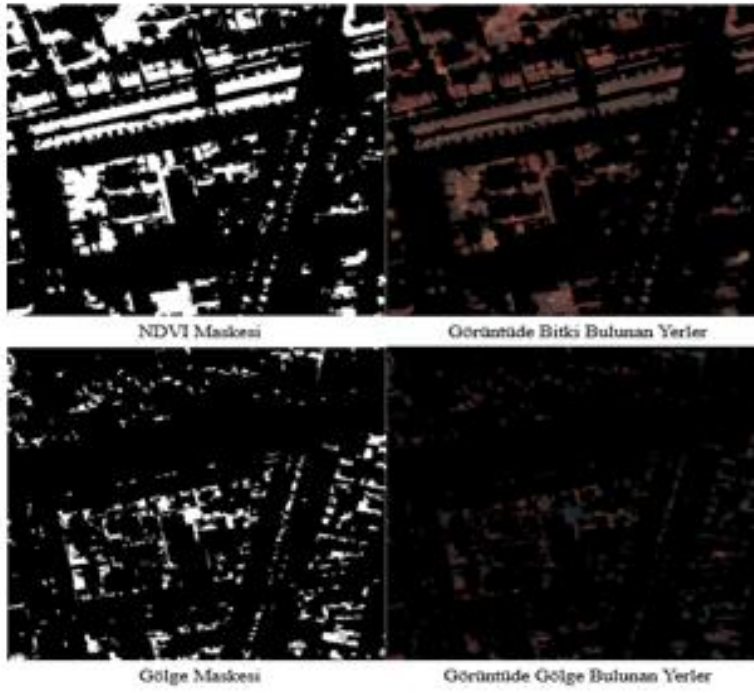


Şekil 4.26 : Örnek Potsdam test alanları LİDAR verileri.

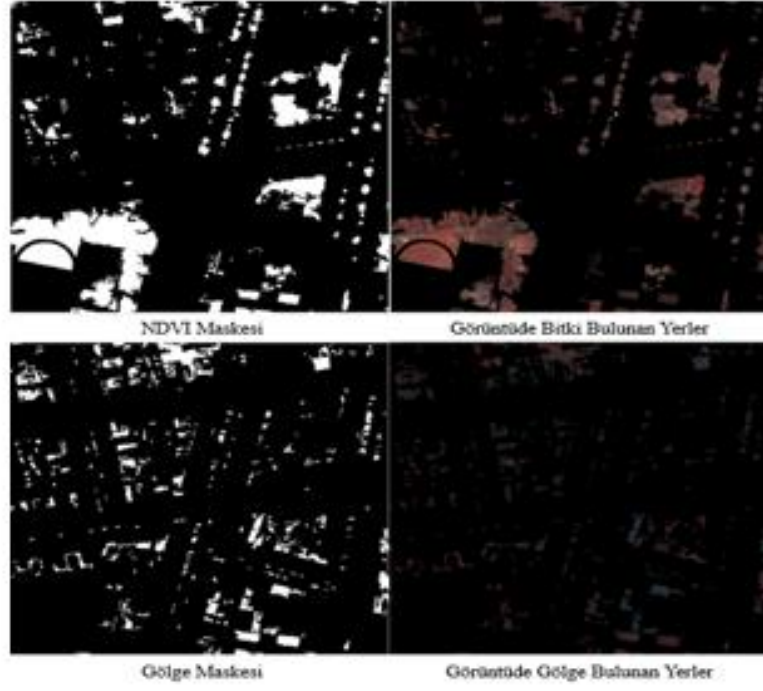
### 4.3.2 Gölge ve NDVI sonuçları



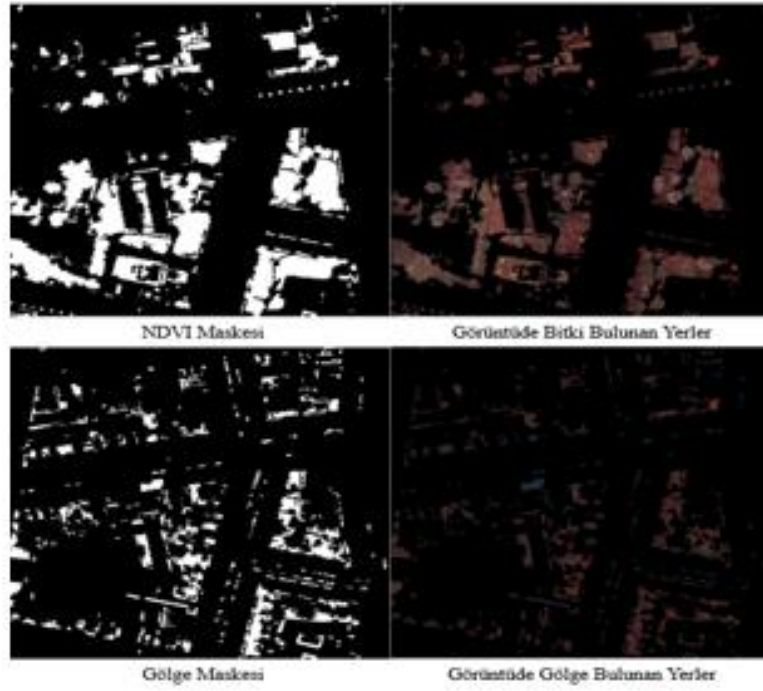
Şekil 4.27 : Potsdam test alanı 3\_11 NDVI ve gölge sonuçları.



Şekil 4.28 : Potsdam test alanı 5\_11 NDVI ve gölge sonuçları.



Şekil 4.29 : Potsdam test alanı 6\_11 NDVI ve gölge sonuçları.



Şekil 4.30 : Potsdam test alanı 6\_12 NDVI ve gölge sonuçları

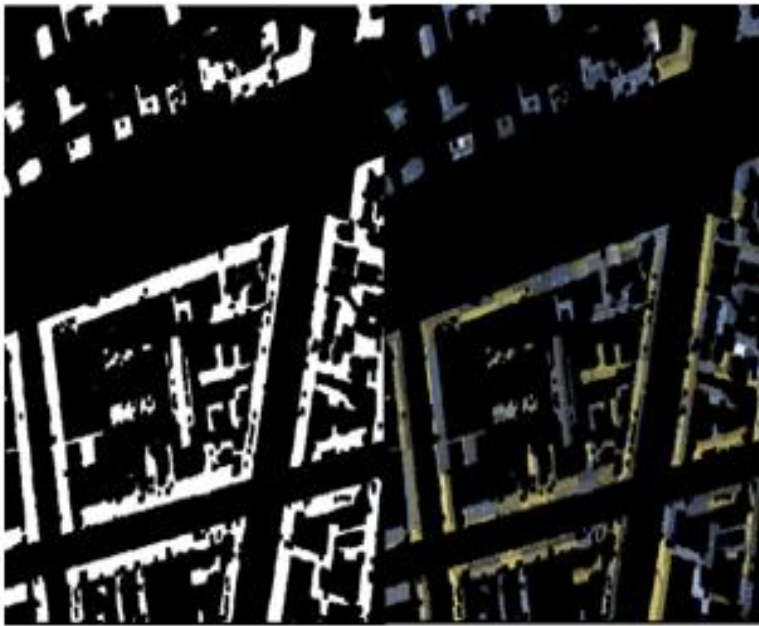
### 4.3.3 Bina başlangıç noktalarını içeren maskeleri



Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

Şekil 4.31 : Potsdam test alanı 3\_11 bina başlangıç noktaları.



Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

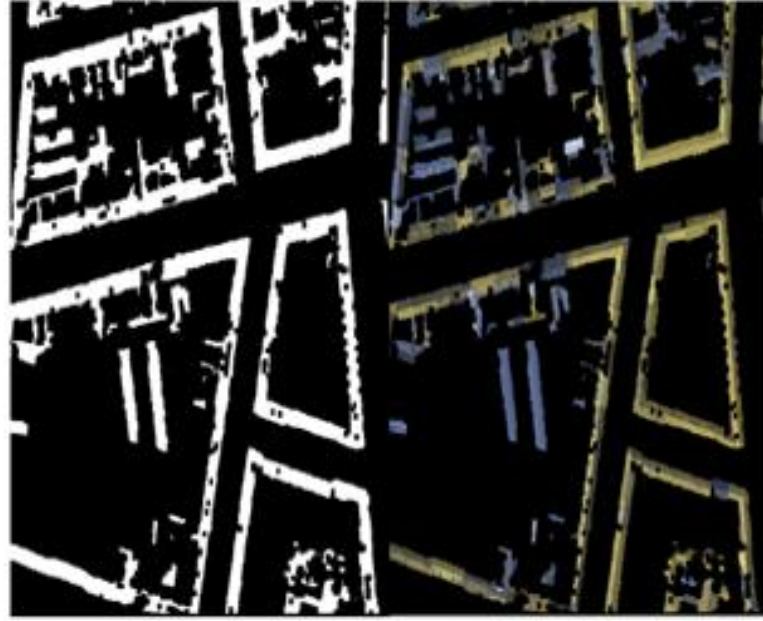
Şekil 4.32 : Potsdam test alanı 5\_11 bina başlangıç noktaları.



Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

Şekil 4.33 : Potsdam test alanı 6\_11 bina başlangıç noktaları.

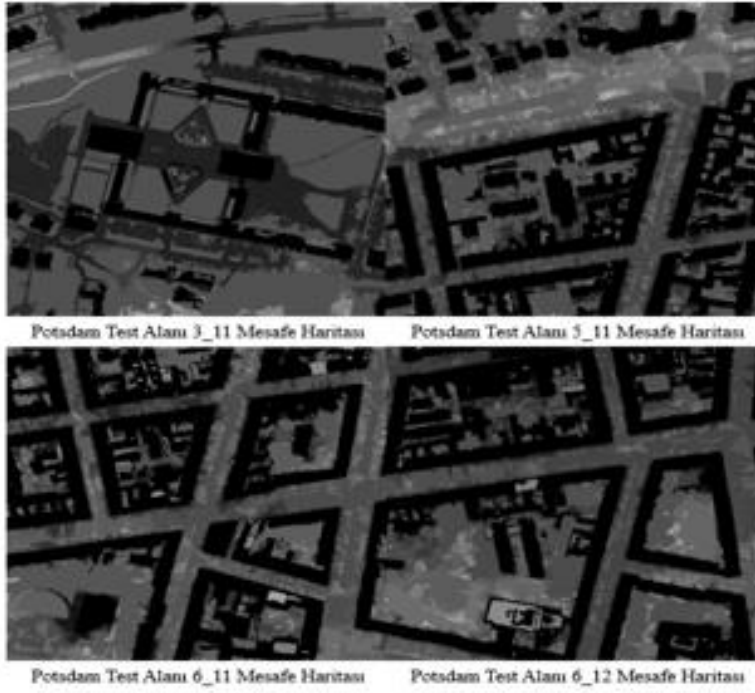


Bina Başlangıç Noktaları Maskesi

Görüntüde Başlangıç Noktaları Maskesi

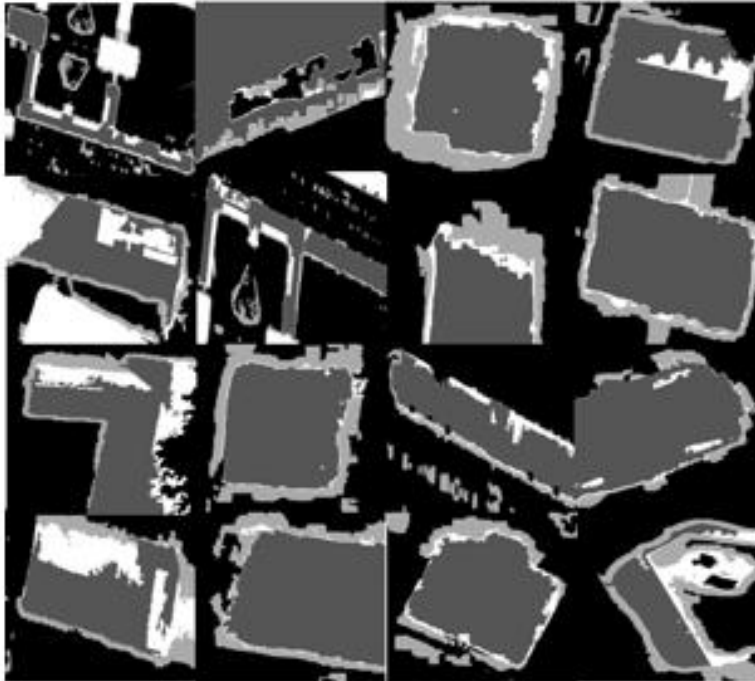
Şekil 4.34 : Potsdam test alanı 6\_12 bina başlangıç noktaları.

#### 4.3.4 Mesafe haritası sonuçları

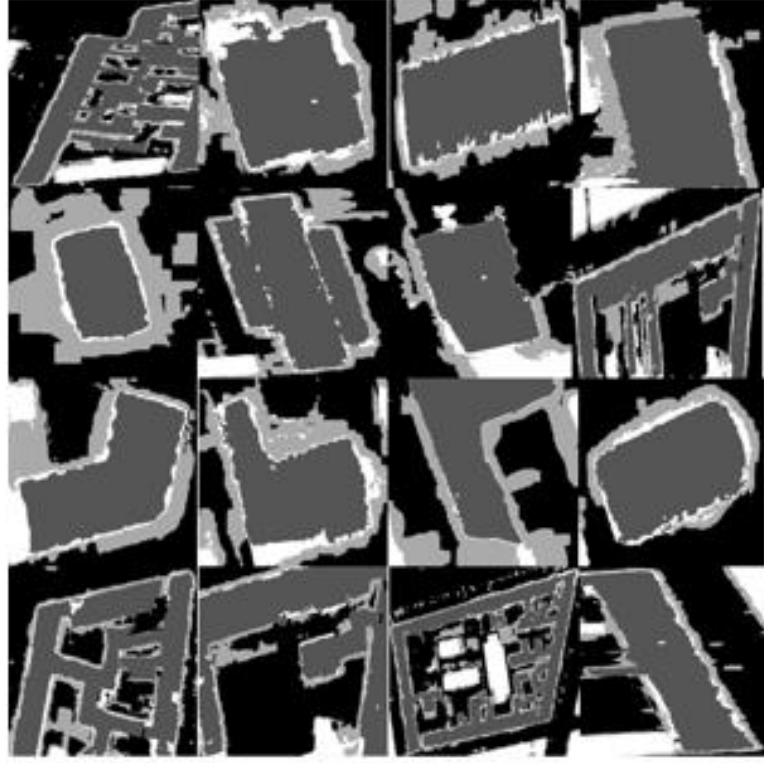


Şekil 4.35 : Örnek alanların mesafe haritaları.

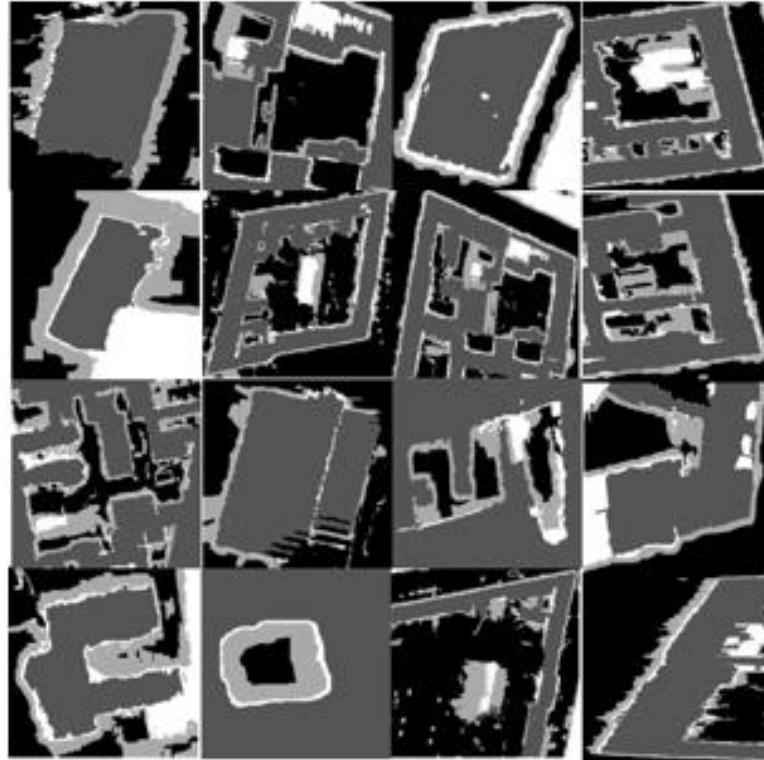
#### 4.3.5 Ön plan/arka plan maskesi sonuçları



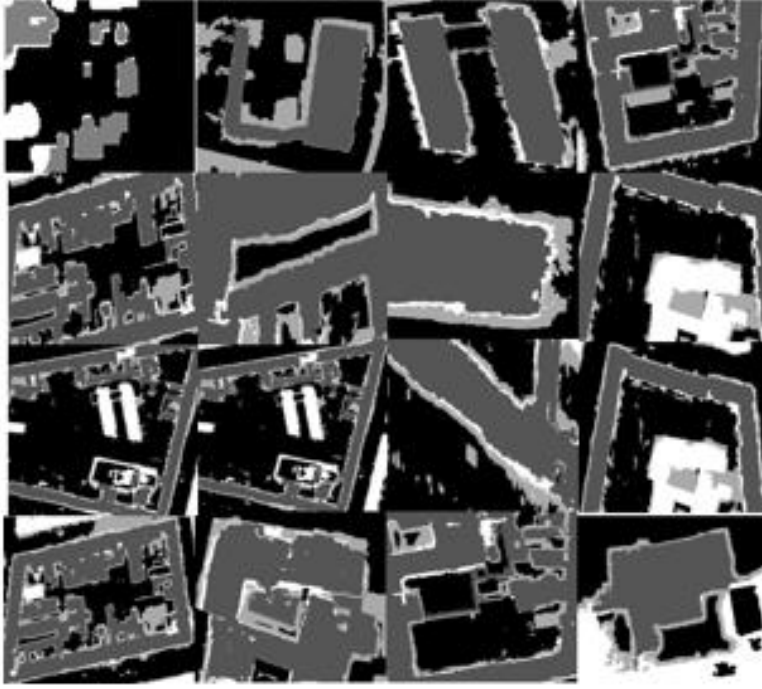
Şekil 4.36 : Potsdam test alanı 3\_11 ön plan /arka plan sonuçları.



Şekil 4.37 : Potsdam test alanı 5\_11 ön plan /arka plan sonuçları.



Şekil 4.38 : Potsdam test alanı 6\_11 ön plan /arka plan sonuçları.



Şekil 4.39 : Potsdam test alanı 6\_12 ön plan /arka plan sonuçları.

#### 4.3.6 Önerilen bina bulma algoritması sonuçları



Şekil 4.40 : Potsdam test alanı 3\_11 algoritma sonucu.

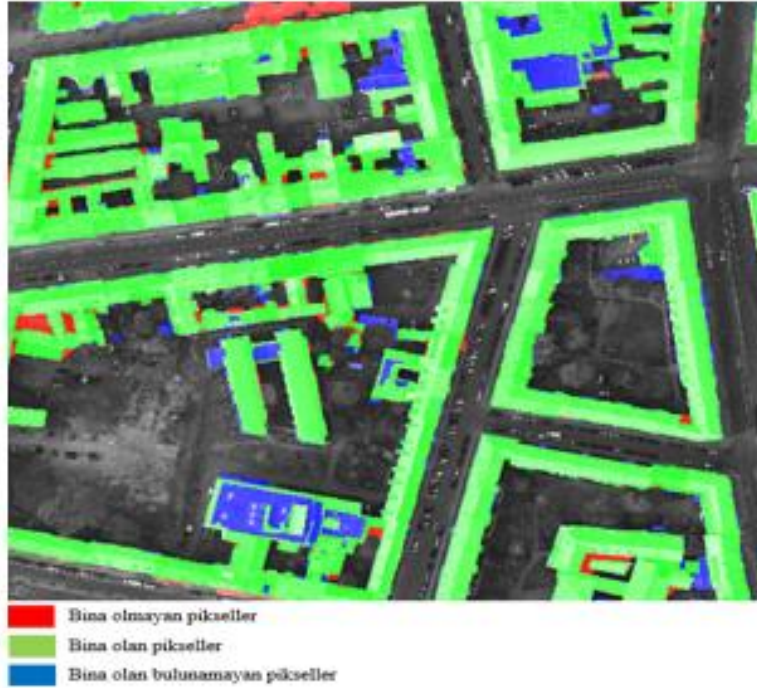




Şekil 4.41 : Potsdam test alanı 5\_11 algoritma sonucu.



Şekil 4.42 : Potsdam test alanı 6\_11 algoritma sonucu.



Şekil 4.43 : Potsdam test alanı 6\_12 algoritma sonucu.

#### 4.4 Test Sonuçları Değerlendirme

Bu kısımda yapılan testlerin performans sonuçları ve çalışma süresi hakkında sayısal veriler vardır.

##### 4.4.1 Çalışma süreleri ve uygulama bilgileri

Yapılan çalışmalar sonucunda algoritma çalışma süreleri Çizelge 4.4 ve 4.5'te gösterilmektedir. Tablodaki sayısal veriler incelendiğinde Vaihingen verisinde en yavaş çalışan kısım Çizge-Kesme Yöntemidir. Potsdam verisi için ise gölge ve NDVI maskesinin üretilmesi en yavaş çalışan kısımdır. Bu kısımdan sonra ise en yavaş Çizge-Kesme Yöntemi kısımdır. Bu kısım görüntüde belirlenmiş belirli boyuttaki parçalar üzerinde sıra ile çalıştırıldığından diğer kısımlara göre çalışma süresi daha uzun sürmektedir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 algoritmanın iki farklı veri kümesindeki ortalama çalışma sürelerini göstermektedir.

Yöntem Windows 8 platformunda Matlab ortamında geliştirilmiştir. Ama çalışma süresinin hızlı olması için bazı kısımlarda Visual Studio 2010 ortamında C++ dili ile

yazılan kodların matlab’da mex halinde çağırılması ile hazırlanmıştır. Tüm görüntüler 4 GB RAM olan ve i5 2.5 GHz özelliklere sahip bilgisayarda test edilmiştir.

Çizelge 4.2 : Vaihingen algoritma adımları ortalama süreleri.

Verilerin Okunması	Gölge ve NDVI Maskesi Üretilmesi	Başlangıç Noktaları Üretilmesi	Mesafe Haritası Hesaplanması	Çizge-Kesme Yönteminin Çalışması	Performans Hesaplama
9,10sn	2,51sn	13,22sn	0,84sn	74,78sn	0,29sn

Çizelge 4.3 : Potsdam algoritma adımları ortalama süreleri.

Verilerin Okunması	Gölge ve NDVI Maskesi Üretilmesi	Başlangıç Noktaları Üretilmesi	Mesafe Haritası Hesaplanması	Çizge-Kesme Yönteminin Çalışması	Performans Hesaplama
19,2429sn	1421,873sn	50,11708sn	6,305417sn	458,3975sn	13,11542sn

Çizelge 4.4 : Vaihingen verisinin çalışma süreleri.

	Verilerin Okunması	Gölge ve NDVI Maskesi Üretilmesi	Başlangıç Noktaları Üretilmesi	Mesafe Haritası Hesaplanması	Çizge-Kesme Yönteminin Çalışması	Performans Hesaplama
Vaihingen_1	0,26sn	2,67sn	15,78sn	0,99sn	130,05sn	0,33sn
Vaihingen_2	0,5sn	3,03sn	16,78sn	1,1sn	99,45sn	0,38sn
Vaihingen_3	1,22sn	3,41sn	18,37sn	1,13sn	80,98sn	0,41sn
Vaihingen_5	0,63sn	2,48sn	15,87sn	1,01sn	227,05sn	0,28sn
Vaihingen_7	0,99sn	2,51sn	15,46sn	1,01sn	132,12sn	0,31sn
Vaihingen_11	0,40sn	2,66sn	14,74sn	0,99sn	56,50sn	0,29sn
Vaihingen_13	0,39sn	4,02sn	21,62sn	1,38sn	68,60sn	0,47sn
Vaihingen_15	1,02sn	2,66sn	15,54sn	0,83sn	64,11sn	0,32sn
Vaihingen_17	20,98sn	1,60sn	6,10sn	0,38sn	17,14sn	0,15sn
Vaihingen_21	1,54sn	3,28sn	14,55sn	0,95sn	62,94sn	0,31sn
Vaihingen_23	8,19sn	2,18sn	10,09sn	0,62sn	44,85sn	0,25sn
Vaihingen_26	5,80sn	2,44sn	11,61sn	0,75sn	72,47sn	0,26sn
Vaihingen_28	0,25sn	2,12sn	10,39sn	0,70sn	65,04sn	0,24sn
Vaihingen_30	19,89sn	2,20sn	10,81sn	0,71sn	45,52sn	0,26sn
Vaihingen_32	86,35sn	2,15sn	11,16sn	0,72sn	49,62sn	0,27sn
Vaihingen_34	3,82sn	1,59sn	7,70sn	0,51sn	25,80sn	0,20sn
Vaihingen_37	2,55sn	1,77sn	8,18sn	0,54sn	29,14sn	0,20sn

Çizelge 4.5 : Potsdam verilerinin çalışma süreleri.

	Verilerin Okunması	Gölge ve NDVI Maskesi Üretilmesi	Başlangıç Noktaları Üretilmesi	Mesafe Haritası Hesaplanması	Çizge-Kesme Yönteminin Çalışması	Performans Hesaplama
Potsdam_2_10	9,24sn	1229,85sn	36,17sn	7,50sn	231,37sn	2,83sn
Potsdam_2_11	17,89sn	1545,79sn	39,61sn	5,44sn	92,22sn	4,94sn
Potsdam_2_12	9,50sn	1146,65sn	38,52sn	4,71sn	109,21sn	4,88sn
Potsdam_3_10	6,61sn	1349,12sn	60,26sn	11,74sn	167,23sn	3,43sn
Potsdam_3_11	10,29sn	1721,28sn	51,77sn	4,82sn	439,10sn	11,90sn
Potsdam_3_12	11,73sn	1662,53sn	51,78sn	9,79sn	291,61sn	20,61sn
Potsdam_4_10	7,19sn	1798,91sn	52,25sn	4,97sn	280,60sn	9,23sn
Potsdam_4_11	10,16sn	2063,72sn	49,28sn	6,20sn	361,20sn	5,02sn
Potsdam_4_12	9,66sn	1139,01sn	39,21sn	4,89sn	400,84sn	7,76sn
Potsdam_5_10	8,36sn	975,66sn	37,96sn	4,75sn	266,13sn	4,80sn
Potsdam_5_11	8,59sn	1045,78sn	42,28sn	5,16sn	941,64sn	9,02sn
Potsdam_5_12	11,88sn	1059,10sn	41,46sn	4,90sn	1086,04sn	14,38sn
Potsdam_6_7	9,28sn	1176,63sn	36,94sn	5,59sn	141,90sn	3,72sn
Potsdam_6_8	9,00sn	1606,00sn	43,17sn	4,51sn	301,47sn	9,23sn
Potsdam_6_9	10,82sn	1733,19sn	41,65sn	4,72sn	270,72sn	7,03sn
Potsdam_6_10	10,63sn	1942,42sn	53,83sn	11,72sn	370,14sn	67,72sn
Potsdam_6_11	46,59sn	1842,75sn	118,93sn	4,96sn	1026,73sn	22,32sn
Potsdam_6_12	8,99sn	800,17sn	44,86sn	4,47sn	1427,31sn	12,97sn
Potsdam_7_7	53,94sn	1596,01sn	58,98sn	9,70sn	488,38sn	38,78sn
Potsdam_7_8	145,84sn	1129,31sn	75,68sn	10,97sn	654,97sn	15,38sn
Potsdam_7_9	8,49sn	1387,85sn	45,76sn	4,85sn	427,64sn	25,58sn
Potsdam_7_10	20,22sn	995,16sn	49,13sn	4,92sn	262,60sn	3,93sn
Potsdam_7_11	8,05sn	1144,51sn	43,33sn	4,55sn	433,49sn	4,18sn
Potsdam_7_12	8,88sn	2033,56sn	50sn	5,5sn	529sn	5,13sn

#### 4.4.2 Performans sonuçları

Bu çalışma performans değerlendirilirken Hassasiyet ve Kesinlik performans metrikleri kullanılmıştır. Bu metrikler piksel tabanlı bir hesaplama mantığına sahip olmaktadır ve oldukça yaygın kullanılmaktadır

Performans sonuçları Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de listelenmiştir. Bu iki veri kümeleri

çeşitli zorluklar içeren birbirinden farklı binalara sahip olmasından dolayı bulunan performans sonuçları başarılıdır. Son yıllarda önerilen yöntemlere göre Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere performans değerleri daha başarılı olmaktadır.

Çizelge 4.6 : Farklı çalışmalar ile performans karşılaştırılması.

	Qui ve Fang [42]		Gerke [43]		Önerilen Yöntem	
	Kesinlik	Hassasiyet	Kesinlik	Hassasiyet	Kesinlik	Hassasiyet
Alan 1	0.903	0.903	0.912	0.903	0.930	0.908
Alan 2	0.941	0.903	0.940	0.890	0.903	0.941
Alan 3	0.885	0.928	0.891	0.925	0.945	0.886
Ortalama	0.904	0.917	0.914	0.906	0.926	0.912

Bazı görüntülerde algoritmanın başarılı olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi;

- Bina olan yerlerin gölge ve bitki olarak bulunması sonucu elenmesi
- Bulunan bina sonuçlarının kenar düzeltme işleminin yapılmaması sebebi ile hataların olması
- Başlangıç noktası bulurken bina olmayan yerlerden örnekler bulunması
- Pencere boyutu, yapısal eleman vs. gibi girdi olarak verilen değerlere bağımlı olmasıdır.

Çizelge 4.7 : Vaihingen performans sonuçları.

Görüntü Adı	Kesinlik	Hassasiyet	F-Ölçüm
Vaihingen_1	0.92	0.89	0.90
Vaihingen_2	0.90	0.94	0.92
Vaihingen_3	0.94	0.88	0.91
Vaihingen_5	0.90	0.94	0.92
Vaihingen_7	0.58	0.91	0.71
Vaihingen_11	0.91	0.88	0.90
Vaihingen_13	0.88	0.85	0.86
Vaihingen_15	0.88	0.83	0.85
Vaihingen_17	0.95	0.93	0.94
Vaihingen_21	0.94	0.90	0.92
Vaihingen_23	0.87	0.91	0.89
Vaihingen_26	0.94	0.85	0.89
Vaihingen_28	0.95	0.80	0.86
Vaihingen_30	0.95	0.87	0.91
Vaihingen_32	0.83	0.87	0.85
Vaihingen_34	0.97	0.87	0.92
Vaihingen_37	0.96	0.83	0.89
Ortalama	0,89	0,88	0,88

Çizelge 4.8 : Potsdam performans sonuçları.

Görüntü Adı	Kesinlik	Hassasiyet	F-Ölçüm
Potsdam_2_10	0.92	0.86	0.89
Potsdam_2_11	0.91	0.62	0.74
Potsdam_2_12	0.95	0.69	0.80
Potsdam_3_10	0.91	0.86	0.89
Potsdam_3_11	0.94	0.95	0.94
Potsdam_3_12	0.93	0.90	0.91
Potsdam_4_10	0.94	0.89	0.91
Potsdam_4_11	0.96	0.89	0.92
Potsdam_4_12	0.96	0.88	0.92
Potsdam_5_10	0.94	0.85	0.90
Potsdam_5_11	0.95	0.93	0.94
Potsdam_5_12	0.94	0.92	0.93
Potsdam_6_7	0.88	0.72	0.79
Potsdam_6_8	0.96	0.88	0.92
Potsdam_6_9	0.96	0.83	0.89
Potsdam_6_10	0.95	0.85	0.90
Potsdam_6_11	0.96	0.93	0.94
Potsdam_6_12	0.96	0.90	0.93
Potsdam_7_7	0.94	0.92	0.93
Potsdam_7_8	0.94	0.89	0.92
Potsdam_7_9	0.92	0.87	0.90
Potsdam_7_10	0.67	0.34	0.45
Potsdam_7_11	0.89	0.96	0.92
Potsdam_7_12	0.92	0.81	0,86
Ortalama	0,925	0,839167	0,877391

Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde çalışmanın birçok görüntüde başarılı olduğu görülmüştür. Başarılı olmadığı durumlar ise yukarıdaki sebeplerden dolayı makul olarak açıklanabilmektedir.



## 5. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Otomatik bina bulma uzaktan algılama alanında çalışılan önemli bir konudur. Bu alanda yapılan çalışmalar özellikle yüksek çözünürlüklü görüntü ve hassas yükseklik bilgisi içeren LİDAR verisinin elde edilmesi ile artmaktadır. Bu alan askeri, sivil ve şehir planlama açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden binaların doğru bulunması ve var olan tüm binaların bulunması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında LİDAR ve hava fotoğrafı ile yeni bir otomatik bina bulma yöntemi önerilmektedir. Önerilen çalışmada yükseklik bilgisi üzerinde binaya ait olduğu kesin olan başlangıç noktaları bulunmaktadır. Bu sayede bina başlangıç noktaları toplanmaktadır. Bu noktaları bulma yönteminin doğruluğunun yüksek olması ve görüntüye bağımlılığının düşük olması oldukça önemlidir. Bu şartlar düşünüldüğünde ilerlemeli morfolojik filtre ile bulunan noktalar oldukça doğru olmaktadır. Ayrıca görüntüden faydalanılarak gölge ve bitki bölgelerinin maskeleri elde edilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak öncelikle bina başlangıç noktalarının kesişimi elenmektedir. Buradaki amaç bina örneği olarak belirlenen araba, garaj, ağaç gibi yerlerin elenmesini sağlamak ve doğruluğu yüksek bina örnekleri belirlemektir. LİDAR verisi üzerinden bina örnekleri referans alınarak geodezik mesafesi hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda elde edilen mesafe maskesinde değerin düşük olduğu yerler bina olmaya yakın yerlerdir. Bina olmayan yerlerin ise sayısal değerleri yüksek olmaktadır. Bu mesafe referans alınarak ön plan/arka plan görüntüsü elde edilmektedir. Burada mesafe haritasında belirli eşik değerinden küçük yerler kesin ön plan olarak belirlenmiştir. Kesin ön plan olan yerlerin ortalama yüksekliği ( $Ef$ ) belirlenmiştir. NDVI maskesi ile belirlenmiş bölgeler dışındaki piksellerin ortalama yüksekliği ( $Bf$ ) hesaplanmıştır. Bu iki değer ortalamasından yükseklik değeri yüksek olan pikseller muhtemel ön plan olarak belirlenmektedir. NDVI maskesi ile belirlenmiş pikseller ya da yükseklik değeri  $Bf$  değerinden düşük olan pikseller kesin arka plan olarak belirlenmektedir. Kalan noktalar ise muhtemel arka plan olarak belirlenmektedir. Bu

şekilde 4 sınıfa ayrılmış ön plan /arka plan maskesi elde edilmektedir. Bu 4 sınıflı maskeden yararlanarak Çizge-Kesme tabanlı sınıflandırma yapılmaktadır. Algoritma sonuçları internette açık olarak bulunan veri setlerinde test edilmiştir. Test sonuçları yer doğruluk verisi kullanılarak performans metrikleri ile sayısal olarak tespit edilmiştir.

Yapılan testler sonucunda yöntem birçok zorluğa rağmen gürbüzlük göstermektedir. Bu yöntemin var olan yöntemlere göre bina şekline, dağılımına, renk bilgisine bakımından bağımlılığı daha düşüktür. Ayrıca arazinin engebeli olması durumunda ilerlemeli filtre ile bina ile arazi engebeleri arasında başarılı bir ayırım yapmaktadır. Böylece farklı görüntülerde başarılı bir şekilde çalışmaktadır.

Sonraki çalışmalarda bina kenarlarının doğrusal olarak düzeltilmesi planlanmaktadır. Bu düzeltmenin çalışmaların performans sonuçlarını daha da yükselteceği öngörülmektedir. LİDAR verisine ulaşmanın pahalı ve zor olmasından dolayı stereo görüntülerden elde edilen yükseklik bilgisinin kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca çalışma süre probleminde dolayı kodların FPGA ortamına aktarılması hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mayer, H. Automatic object extraction from aerial imagery—A survey focusing on buildings. *Comput. Vis. Image Understand.* 1999, 74, 138-149.
- [2] Huertas, A. and Nevatia, R., 1988. Detecting buildings in aerial images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.41, pp.131-152.
- [3] Kim, Z., W. and Nevatia, R., 1999. Uncertain reasoning and learning for feature grouping. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.76, No.3, pp.278-288.
- [4] Lin, C. and Nevatia, R. 1998. Building detection and description from a single intensity image. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.72, No.2, pp.101-121
- [5] Alharthy, A. and Bethel, J., 2002. Heuristic filtering and 3d feature extraction from LIDAR data. *ISPRS The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XXXIV
- [6] Priestnall, G., Jaafar, J. and Duncan, A., 2000. Extracting urban features from LIDAR digital surface models. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 24, pp. 65-78.
- [7] Niederost, M., 2000. Reliable reconstruction of buildings for digital map revision," *IAPRS*, Vol.XXXIII, Amsterdam.
- [8] Suveg, I. and Vosselman, G., 2003. Reconstruction of 3D building models from aerial images and maps. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol 58, Issues 3-4, pp. 202-224.
- [9] Tseng, Y. and Wang, S., 2003. Semiautomated building extraction based on CSG model-image fitting. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 2, pp. 171-180.
- [10] Peng, J., and Liu, Y. C., 2005. Model and context-driven building extraction in dense urban aerial images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No:7, pp. 1289-1307.
- [11] Lee, S., Shan, J. and Bethel, J. S., 2003. Class-guided building extraction from IKONOS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No.2, pp. 143-150.
- [12] Shan, J. and Lee, S., 2002. Generalization of building polygons extracted from IKONOS imagery. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Working Group IV/3, Ottawa.*
- [13] Chen, Liang Chien, et al. "Fusion of LIDAR data and optical imagery for building modeling." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 35.B4 (2004): 732-737.
- [14] Rottensteiner, Franz, et al. "Detecting buildings and roof segments by combining LIDAR data and multispectral images." *Image and Vision Computing New Zealand* 2003. Vol. 1. No. 1. 2003.

- [15] **Rottensteiner, Franz, and Josef Jansa.** "Automatic extraction of buildings from LIDAR data and aerial images." *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.4 (2002): 569-574.
- [16] **Uzar, Melis, and Naci Yastikli.** "Automatic building extraction using LiDAR and aerial photographs." *Boletim de Ciências Geodésicas* 19.2 (2013): 153-171.
- [17] **Awrangjeb, Mohammad, Chunsun Zhang, and Clive S. Fraser.** "Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery." *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 83 (2013): 1-18.
- [18] **Kim, Yongmin.** "Generation of Land Cover Maps through the Fusion of Aerial Images and Airborne LiDAR Data in Urban Areas." *Remote Sensing* 8.6 (2016): 521.
- [19] **Gilani, S. A. N., Mohammad Awrangjeb, and Guojun Lu.** "Fusion of LiDAR data and multispectral imagery for effective building detection based on graph and connected component analysis." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40.3 (2015): 65.
- [20] **Siddiqui, Fasahat Ullah, et al.** "A Robust Gradient Based Method for Building Extraction from LiDAR and Photogrammetric Imagery." *Sensors* 16.7 (2016): 1110.
- [21] **Huber, Martin, et al.** "Fusion of LIDAR Data and Aerial Imagery for Automatic Reconstruction of Building Surfaces." (2003).
- [22] **Rottensteiner, Franz, et al.** "Building detection by Dempster-Shafer fusion of LIDAR data and multispectral aerial imagery." *International Conference on Pattern Recognition*. Vol. 2. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2004.
- [23] **Hu, J., S. You, et al.** (2004). *Building Modeling From LiDAR and Aerial Imagery*. Proceedings of ASPRS. Denver, USA.
- [24] **Zhou, Guoqing, et al.** "Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images." *Computers & Geosciences* 30.4 (2004): 345-353.
- [25] **Zhang, Keqi, et al.** "A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41.4 (2003): 872-882.
- [26] **Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins,** —*Digital Image Processing Using MATLAB*
- [27] **J. Kilian, N. Haala, and M. English,** "Capture and evaluation of airborne laser scanner data," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 31, pp. 383–388, 1996.,
- [28] **Teke, Mustafa, et al.** "Multi-spectral false color shadow detection." *Photogrammetric Image Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. 109-119..
- [29] **Polidorio, A.M., Flores, F.C., Imai, N.N., Tommaselli, A.M.G., Franco, C.:** Automatic shadow segmentation in aerial color images. In: *Proc. XVI Brazilian Symp. Computer Graphics and Image Processing*, pp. 270–277 (2003)

- [30] **Tucker, Compton J.** "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation." *Remote sensing of Environment* 8.2 (1979): 127-150.
- [31] **Yıldız, Hakan, et al.** "Türkiye bitki örtüsünün NDVI verileri ile zamansal ve mekânsal analizi." *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi* 21.2 (2012).
- [32] **Sethian, J. A.** "Evolution, implementation, and application of level set and fast marching methods for advancing fronts." *Journal of Computational Physics* 169.2 (2001): 503-555.
- [33] **Dijkstra, Edsger W.** "A note on two problems in connexion with graphs." *Numerische mathematik* 1.1 (1959): 269-271.
- [34] **Boykov, Yuri Y., and M-P. Jolly.** "Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in ND images." *Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2001.
- [35] **Boykov, Yuri, and Vladimir Kolmogorov.** "An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 26.9 (2004): 1124-1137.
- [36] **Petzold B., Reiss P., Stossel W.,** (1999), Laser scanning surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 95-104
- [37] **Meng X., Currit N., Zhao, K.,** (2010), Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues, *Remote Sensing*, 2 (3), 833-860
- [38] **Liu X.,** (2008), Airborne LiDAR for DTM generation: Some critical issues, *Progress in Physical Geography*, 32 (1), 31-49
- [39] **YILMAZ, Mustafa, Murat UYSAL, and İbrahim YILMAZ.** "Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması."
- [40] **Johnsonbaugh, Richard,** 2005, "Discrete Mathematics", Pearson Prentice Hall Publisher, 6. Baskı.
- [41] <http://www2.isprs.org/commissions/comm3/wg4/data-request-form2.html>  
alındığı tarih: 11.08.2016.
- [42] **Rongjun Qin and Wei Fang,** "A hierarchical building detection method for very high resolution remotely sensed images combined with dsm using graph cut optimization," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 80, no. 9, pp. 873–883, 2014.
- [43] **Markus Gerke and Jing Xiao,** "Fusion of airborne laserscanning point clouds and images for supervised and unsupervised scene classification," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 87, pp. 78–92, 2014.
- [44] **Ghaffarian, Salar.** "Automatic building detection based on supervised classification using high resolution Google Earth images." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40.3 (2014): 101.
- [45] **Hermosilla, Txomin, et al.** "Evaluation of automatic building detection

- approaches combining high resolution images and LiDAR data." *Remote Sensing* 3.6 (2011): 1188-1210.
- [46] **Sirmacek, Beril, and Cem Unsalan.** "Urban-area and building detection using SIFT keypoints and graph theory." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47.4 (2009): 1156-1167
- [47] **Sammani, M. G., and D. R. Welikanna.** "Building Detection Using a Combined Fuzzy C-Mean and Morphological Filtering from Landsat-8 Satellite Image." *Asian Journal of Geoinformatics* 16.4 (2017).
- [48] **Otsu, Nobuyuki.** "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 9.1 (1979): 62-66.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KARAKAYA, İsmail  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 08.07.1989 Giresun  
Medeni hali : Evli  
E-posta : ikarakaya@etu.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Yeri	Mezuniyet Tarihi
Lisans	TOBB ETÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2013
İş Deneyimi	Görev	
2014-Halen	HAVELSAN A.Ş	Yazılım Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Tezden Türetilen Yayınlar

**Karakaya, İsmail, and İmam Şamil Yetik.** "Morphological filter based graph cut for building detection." Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 2016 24th. IEEE, 2016.

### Diğer Yayınlar

Bal, Murat, **İsmail Karakaya**, and Emre BaŞeske. "Point based motion detection on UAV cameras." Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017 25th. IEEE, 2017.

**Karakaya, İsmail, and Yücel ÇEmtay.** "The effect of bant selection to success of artificial neural network in hyperspectral classification." Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017 25th. IEEE, 2017.

