

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİJİTAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN NOKTA BULUTU İLE  
YARI OTOMATİK BİNA DETAYI ÇIKARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisi Pınar Yeşim LİMANDAL**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİJİTAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN NOKTA BULUTU İLE**  
**YARI OTOMATİK BİNA DETAYI ÇIKARIMI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"Harita Yüksek Mühendisi"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 05 / 2019**  
**Tezin Savunma Tarihi : 17 / 06 / 2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fevzi KARSLI**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında  
Pınar Yeşim LİMANDAL Tarafından Hazırlanan**

**DİJİTAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN NOKTA BULUTU İLE  
YARI OTOMATİK BİNA DETAYI ÇIKARIMI**

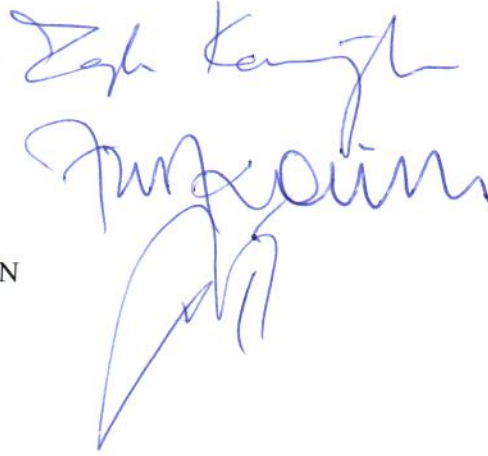
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2019 tarih ve 1806 sayılı  
Kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU**

**Üye : Prof. Dr. Fevzi KARSLI**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Dijital Hava Görüntülerinden Üretilen Nokta Bulutu İle Yarı Otomatik Bina Detayı Çıkarımı” konulu yüksek lisans tez çalışmamda öncelikle tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmamın her aşamasında bana bilgi ve deneyimlerini sabırla aktaran, çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Fevzi KARSLI’ya saygı ve minnetle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın verilerinin temin edilmesi ve üretilmesi aşamasında yardımcı olan ve her türlü kolaylığı sağlayan başta İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğü olmak üzere Özerler Mühendislik A.Ş.’ye, Oğuz ÖZER’e, İbrahim KINIK’a, Atay Mühendislik’e, Hande YEŞİLMADEN’e ve İsmail SAYAR’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana evlerini açan ve beni sürekli motive eden Bulut ailesine, ders dönemlerinde yardımlarını esirgemeyen Burak TOKDEMİR’ e, tez yazımı boyunca aynı çalışma ortamını paylaştığım fikir ve kader arkadaşım Elif MUŞ’a, anlayışla ve sabırla görevimi devralan birlikte görev yürüttüğüm Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ankara Şube Yönetim Kurulu üyelerine ve çalışanlarına ve bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana her zaman destek olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, okumam ve meslek sahibi olmam için her türlü fedakârlığı sualsiz gösteren, bana her zaman güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Pınar Yeşim LİMANDAL  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dijital Hava Görüntülerinden Üretilen Nokta Bulutu İle Yarı Otomatik Bina Detayı Çıkarımı” başlıklı bu çalışmayı Prof. Dr. Fevzi KARSLI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.17/065/2019

Pınar Yeşim LİMANDAL  
Trabzon 2019

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XI
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Temel Kavramlar .....	8
1.2.1. Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihçesi .....	8
1.2.2. Fotogrametrik Matematik Model.....	9
1.2.3. Hava Fotogrametrisi .....	12
1.2.4. Dijital Fotogrametri .....	16
1.2.5. Hava Fotoğrafi ve Hava Kamerası Özellikleri .....	17
1.2.6. Işın Demetleriyle Blok Dengeleme .....	20
1.2.7. Nokta Bulutu Üretimi .....	21
1.2.8. Global Mapper Programı Lidar Modülü.....	22
1.2.9. Referans Veri Seti Oluşturulması .....	27
1.2.10. Doğruluk Analizi Yöntemleri .....	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	33
2.1. Çalışma Alanı .....	34
2.1.1. Kırsal/Kentsel Alan Veri Seti .....	34
2.1.2. Kentsel Alan Veri Seti .....	35
2.2. Çalışma Alanlarına Ait Görüntüler ile Nokta Bulutu Üretimi.....	36
2.3. Zemin Detayının Nokta Bulutu Verisinden Çıkarımı.....	37
2.4. Bina Düzlemlerinin Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi .....	39
2.5. 3B Bina Modellerinin Yarı Otomatik Olarak Oluşturulması .....	42
2.6. Bina Sınırlarının Referans Vektör Veri ile Çakıştırılması.....	43
3. BULGULAR VE İRDELEME .....	46

4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
5.	KAYNAKLAR.....	58

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DİJİTAL HAVA GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN NOKTA BULUTU İLE  
YARI OTOMATİK BİNA DETAYI ÇIKARIMI

Pınar Yeşim LİMANDAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 60 Sayfa

Günümüzde teknolojiyi ve bilimi yakından takip eden fotogrametri, birçok harita altlığının ve hâlihazır harita, ortofoto, doğru ortofoto, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) gibi veri setinin oluşturulmasına imkân sağlamıştır. Geline nokta ise kamu kurumundan özel sektöre birçok alanda fotogrametrik yöntemle veri üretilmeye başlanmıştır. Bu üretimler sırasında karşılaşılan sorunları en aza indirmek için yapılan bu tez çalışmasında; ışın demetleri yöntemi ile en küçük kareler dengelemesi ile dengelenen hava fotoğraflarından yoğun görüntü eşleştirme yöntemi esaslı çalışan yazılımlarla nokta bulutu üretilerek yarı otomatik/otomatik bina detayı çıkarımı işlemi yapılmıştır. Bina detayı çıkarım işlemi Global Mapper programının LiDAR modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırsal/Kentsel ve Kırsal çalışma alanı olmak üzere iki farklı veri setinde, en kesitler çıkararak detay çıkarım imkânı sağlayan program sayesinde hâlihazır harita üretiminde karşılaşılan sorunlar giderilmiş ve sonuç olarak bina detayları, yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak elde edilen nokta bulutu verisinden yarı otomatik olarak çıkarılmıştır. Üretilen veri 3B stereo çizimler sonucu oluşan vektör veri ile kıyaslanarak işlem tamamlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; Kırsal/Kentsel ve Kentsel çalışma alanları için tamlik, doğruluk ve kalite değerleri sırasıyla %97.18, %96.50, %96.50 ve %97.2, %97.44 ve %97.44 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bina Detayı Çıkarımı, Nokta Bulutu, Yoğun Görüntü Eşleştirme, En Küçük Kareler Yöntemi, Dijital Görüntü



Master Thesis

SUMMARY

SEMI AUTOMATIC DETECTION OF BUILDINGS  
USING POINT CLOUD DATA PRODUCED FROM DIGITAL IMAGES

Pınar Yeşim LİMANDAL

Karadeniz Technical University  
The graduate school of natural and applied sciences  
Geomatics engineering department  
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 60 Pages

Today, photogrammetry, which closely follows technology and science, has enabled the creation of a set of data such as many map bases and current maps, orthophoto, true orthophotos, DEM (Digital Elevation Model). The studies are carried out with digital photogrammetry method and the current maps are produced by using the aerial photographs. In this thesis, which was made to minimize the problems encountered during these productions, the point cloud was produced with semi-automatic / automatic building detail extraction from the point cloud generated from the aerial photographs, which were balanced with the Bundle block adjustment method and the least squares balancing method. The detection of building was done by using the LiDAR module of the Global Mapper program. In two different data sets, rural / urban and rural work area, problems are encountered in the production of current maps with program detected building by creating cross section, and as a result the building details were semi-automatically detection from the point cloud data produced using high resolution images. The generated data are compared with vector data generated by 3D stereo drawings, and the operation is completed. As a result of the studies; completeness, correctness and quality values were calculated for rural / urban and urban study area as 97.18%, 96.50%, 96.50% and 97.2%, 97.44% and 97.44%.

**Key Words:** Building Extraction, Point Cloud, Dense Image Matching, Least Squares Methods, Digital Images

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Fotogrametrinin tarihi ve gelişim haritası .....	8
Şekil 2. Fotogrametrinin matematik modeli .....	10
Şekil 3. Hava fotogrametrisinde geçmişten günümüze platformlar .....	13
Şekil 4. Hava fotogrametresi iş akış şeması .....	14
Şekil 5. Görüntü eşleme yöntemleri tablosu.....	16
Şekil 6. Kameranın yapısı; a) mercek b) diyafram c) obturatör d) odaklama e) görüntüleme sistemi f) film g) film nakil sistemi h) kamera gövdesi (URL-5) .....	17
Şekil 7. Türkiyedeki hava kameraların özellikleri (GSD, 1000 m yükseklik için hesaplanmıştır.) .....	18
Şekil 8. Dijital hava kamerası özellikleri.....	19
Şekil 9. Dijital hava kamerası sensörleri .....	19
Şekil 10. Işın Demetleri ile blok dengelemesi.....	20
Şekil 11. Yoğun Görüntü Eşlemede m,n ve $r_k$ ekseninde “global cost ” fonksiyonu kalitesi .....	22
Şekil 12. Zemin detayı çıkarılmış nokta bulutu verisi; a) nokta bulutu b) zemin detayı çıkarıldığı nokta bulutu .....	23
Şekil 13. Bina detayına ait noktaların sınıflandırılması maksimum ve minimum değerleri (URL-6).....	24
Şekil 14. Bina detayı çıkarılmış nokta bulutu verisi; a)yer üstü nokta sınıflarının çıkarıldığı nokta bulutu b) bina sınıfının çıkarıldığı nokta bulutu .....	25
Şekil 15. Bina detay noktaları tamamen çıkarılmış nokta bulutu verisi; a) bina sınıfının kısmen çıkarıldığı nokta bulutu b) bina sınıfının tamamen çıkarıldığı nokta bulutu.....	25
Şekil 16. Otomatik olarak örnek veri alanında çizilmiş 2B bina sınırları; a) bina sınıfı tamamen çıkarılmış nokta bulutu b) bina detayı otomatik çıkarılmış nokta bulutu.....	26
Şekil 17. 3B bina modeli; a) bina detayının profil ile otomatik çizilmiş b) 3B bina modeli.....	27
Şekil 18. Kırsal/Kentsel çalışma alanı Matlab yazılımında hazırlanmış referans bina detayı çıkarımı .....	28
Şekil 19. Kırsal/Kentsel çalışma alanı için hazırlanmış vektör bina çizimi .....	29
Şekil 20. Tamlık, doğruluk ve kalite analizleri şeması .....	32

Şekil 21. Çalışmanın İş Akış Şeması.....	33
Şekil 22. Kırsal/Kentsel Çalışma Alanı Genel Görünümü .....	34
Şekil 23. Kentsel Çalışma Alanı Genel Görünümü.....	35
Şekil 24. Kırsal/Kentsel çalışma alanına ait bir bölgenin 1/1000 ölçekli a) ortofoto ve b) nokta bulutu görüntüleri .....	36
Şekil 25. Kentsel çalışma alanına ait bir bölgenin 1/1000 ölçekli a) ortofoto ve b) nokta bulutu görüntüleri .....	37
Şekil 26. Kırsal/Kentsel çalışma alanında zemin detayı çıkarılmış bir bölge ile ortofotonun kıyaslaması; a) zemin detayı çıkarılmış bölge b) ortofoto .....	38
Şekil 27. Kentsel çalışma alanında zemin detayı çıkarılmış bir bölge ile ortofotonun kıyaslaması; a) zemin detayı çıkarılmış bölge b) ortofoto .....	38
Şekil 28. Bina detayının profil yardımıyla çizilmesi (URL-7).....	39
Şekil 29. Kırsal/Kentsel çalışma alanında farklı binaların detay çıkarımı .....	40
Şekil 30. Kentsel çalışma alanında farklı binaların detay çıkarımı .....	41
Şekil 31. Kırsal/Kentsel çalışma alanı 3B bina modeli .....	42
Şekil 32. Kırsal/Kentsel çalışma alanı bina detaylarının referans vektör veri ile çakıştırılması .....	43
Şekil 33. Kentsel çalışma alanı bina detaylarının referans vektör veri ile çakıştırılması....	44
Şekil 34. Örnek 1: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri.....	46
Şekil 35. Örnek 2: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri.....	47
Şekil 36. Örnek 3: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri.....	48
Şekil 37. Tüm bina çizimlerinin kıyaslanması .....	49
Şekil 38. Örnek 1: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması.....	50
Şekil 39. Örnek 2: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması.....	51
Şekil 40. Örnek 3: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması.....	52
Şekil 41. Yüksek bitki örtüsü nedeniyle kapanan bina örneği .....	53
Şekil 42. Yüksek bitki örtüsü nedeniyle kapanan bina örneği profili (URL-7) .....	54
Şekil 43. Kırıkları fazla olan ve doğru çizilemeyen bina örneği.....	54
Şekil 44. Nokta sayısının az olduğu bina detayı.....	55

## SEMBOLLER DİZİNİ

- BÖHHBÜY : Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
- CCD : Charge Couple Device (Yük Paylaşımlı Görüntü Elemanı)
- DAPHNE : Determining Approximate Horizontal Surfaces from Urban LiDAR Point Cloud (Havadan LiDAR Nokta Bulutlarından Yaklaşık Yatay Yüzeylerinin Çıkarılması ve Bölümlenmesi)
- DBSCAN : Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise (Gürültülü Uygulamaların Yoğunluk Temelli Mekânsal Kümelemesi)
- DGPF : Deutsche Gesellschaft für Photogrammerie, Fernerkundung und Geoinformation (Alman Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği ve Jeoinformasyon)
- DIM : Dense Image Matching (Yoğun Görüntü Eşleme)
- DSİ : Devlet Su İşleri
- DSM : Digital Surface Models (Dijital Yüzey Modeli)
- HGM : Harita Genel Müdürlüğü
- GRS : Geodetic Reference System (Jeodezik Referans Sistemi)
- IMU : Inertial Measurement Unit (Ataletsel Ölçüm Ünitesi)
- INS : Inertial Navigation System (Ataletsel Navigasyon Sistemi)
- ISPRS : International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği)
- ITRF : The International Terrestrial Reference Frame (Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi)
- İHA : İnsansız Hava Araçları
- KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
- LiDAR : Light Detection And Ranging (Işık Algılama ve Mesafe Ölçme)
- OGM : Orman Genel Müdürlüğü
- RANSAC : Random Sample Consensus (Rastgele Örnek Uzlaşımı)
- SAM : Sayısal Arazi Modeli
- SYM : Sayısal Yükseklik Modeli
- TKGM : Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
- TUTGA : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
- V3BD : Voxel 3B Detection (Voxel Tabanlı 3B Bina Detayı Çıkarımı Algoritması)

VMCF	: Vegetation Mask Based Connected Filter (Vejetaston Maske Tabanlı Bağlı Filtre)
C	: Odak uzaklığı
C	: “global cost” değeri
D	: “global cost” değeri eşitliği
O	: Kartezyen nesne koordinat sisteminin merkezi
$p_i, P_i$	: Resim, nesne vektörleri
P	: “global cost” eşitliğinde piksel değeri
$P_1$	: “global cost” eşitliğinde en küçük hata değeri
$P_2$	: “global cost” eşitliğinde en büyük hata değeri
R	: Dönüklük matrisi
x,y	: Resim koordinatı
X,Y,Z	: Nesne koordinat sistemi merkez koordinatları
$X_0, Y_0, Z_0$	: İzdüşüm merkezi koordinatları
$X_i, Y_i, Z_i$	: Nesne noktası koordinatı
$\lambda_i$	: Nesne ve resim koordinatı arasındaki ölçek faktörü
$\omega, \varphi, \chi$	: Dönüklük değerleri

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanlık tarihinde göçebe hayattan yerleşik hayata geçildiği günden itibaren toprak en önemli yere sahip olmuştur. Bununla birlikte toprağa sahip olma arzusu ile başlayan süreç birçok keşfi de beraberinde getirmiştir. Keşfedilen yerlerin kâğıtlara çizimi ve anlatımı ile tarihin bilinen ilk haritaları oluşturulmuştur. O dönemlerde çizilen haritaların içeriği incelendiğinde canlı cansız tüm varlıklar, bitki örtüsü ve kara parçalarından oluştuğu gözlenmiştir.

Devlet olgusunun gelişmeye başlamasıyla ve keşiflerin de bitmesiyle artık sınırlar kaleler ve surlarla çevrilmeye başlanmıştır. Böylelikle oluşan sınır kavramı ile haritalara yeni bir katman daha eklenmiştir. Yaşam alanlarının ve sosyal alanların da artmasıyla ve tarım alanlarının gelişmeye başlamasıyla daha da gelişen ve görselleşen haritalar, bin bir el emeği ile çizilerek bizlere sunulmuştur. Yaşanan bu gelişmeler ile haritalara her seferinde yeni bir katman eklenmiş ve günümüzde hâlihazır harita olarak tanımladığımız vektör haritaların temelini oluşturmuşlardır. Tarihin sayfalarında yerini alan haritalar her ne kadar görsel güzelliğe sahip olsalar da zamanın koşullarına bağlı olarak minimum detay içermişlerdir.

Günümüzde gelenen noktada ise hızla gelişen dünya nüfusu, çevre üzerinde maksimum etki oluşturmuştur. Yerleşme ve düzenlemelerin uygulanması tarihimizdeki özenle yerine getirilmemiştir. Belgeler yetersiz kalmış ve geleneksel harita çizim teknikleri ihtiyacı karşılayamaz hale gelmiştir. Bununla birlikte ilerleyen teknoloji, sosyal değişim, küreselleşme ve hızlı kentleşme geleneksel harita çizim sistemlerini daha da zorlamıştır (Kaufman ve Steudler, 1998).

Teknolojinin ilerlemesi ile geleneksel harita yapım yöntemler terkedilmeye ve yeni yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Geliştirilen yöntemlerden bir tanesi de 1837 yılında fotoğrafın keşfedilmesiyle başlayan fotogrametrik yöntemler olmuştur. Teknolojiyi ve bilimi yakından takip eden fotogrametri, birçok harita altlığının ve veri setinin oluşturulmasına imkân sağlamıştır. Gelenen noktada ise üretilen hâlihazır haritaların neredeyse hepsi fotogrametrik yöntemle üretilmeye başlanmıştır.

Fotogrametrik yöntem ile hâlihazır harita üretim işi ekonomik ve hızlıdır fakat otomatik değildir. Harita çizimi aşamasında yine manuel işlem devreye girmektedir. Fotogrametri bu anlamda da gelişmeler göstermekte ve birçok detayın otomatik çizimi ile ilgili yazılımlar geliştirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmalardan en önemlisi ve en çok üzerinde durulan bina detayı çıkarma işlemleridir. Bu çalışma kapsamında da ilk olarak bina detayı çıkarma uygulamalarına yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Çetinkaya (2002), deprem öncesi ve sonrasına ait stereo hava fotoğraflarından üretilen Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) ile yıkılan binaların otomatik olarak çıkarılması amaçlanmıştır. Deprem öncesi (1994) ve deprem sonrası (1994) stereo hava fotoğrafları kullanılarak otomatik olarak 5 metre çözünürlükte SYM üretilmiştir. İlk olarak her iki yıl için de üretilen SYM'lerin farkları alınmış ve yıkılan binalar için yeni SYM elde edilmiştir. Farklardan oluşturan SYM ile tüm binalar karşılaştırılarak belirlenen eşik değer üzerindeki binalar tespit edilmiştir. Böylelikle ve SYM'lerden yıkılan binalar çıkarılmış ve %84 başarı sağlanmıştır.

Sidar (2004), depremden önce ve sonra elde edilmiş hava fotoğrafları yardımıyla yıkılmış binaların çıkarılmasına yönelik algoritmaların test edilmesini amaçlamıştır. Biri İzmit ili, Gölcük ilçesinde biri de Sakarya ili, Adapazarı ilçesinde olmak üzere iki bölgeye ait hava fotoğrafı kullanılmıştır. Adapazarı'na ait hava fotoğraflarında histogramdan elde edilen standart sapmaların incelenmesi ve gauss filtresi ile binaların yükseklik ve kontrast farkından sonuca ulaşamamışken; Gölcük hava fotoğraflarında %95.88 başarı sağlamıştır.

Bilen (2004), Hough dönüştürücüsünü ve model tabanlı algısal gruplama tekniğini kullanarak yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarından bina detaylarının çıkarılması amaçlanmıştır. Temel görüntü işleme tekniklerinden olan parazit yok etme ve görüntü keskinleştirme teknikleri kullanılarak görüntü iyileştirilmiştir. Canny kenar bulma algoritması ile de bina kenarları fotoğraftan çıkarılmıştır. Hough dönüştürücüsü ve algısal gruplama teknikleri kullanılarak da doğrusal çizgi parçaları gruplandırılarak bina detayı çıkarılmıştır.

Güler (2004), Depremde yıkılan binaların hava fotoğraflarından tespiti için iki yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışma için 1999 yılına ait İzmit ili Gölcük ilçesinde bir alanın hava fotoğrafı kullanılmıştır. İlk olarak Canny kenar tespiti algoritması ile kenarlar tespit edilmiştir. Devamında ise iki aşamalı algısal gruplama kullanılarak tespit edilen kenarlar gruplandırılmıştır. Bina dış hatları ile de tespit edilen detaylar teker teker teker kıyaslanıp değerlendirilmiştir. Birinci yaklaşım ile 203 sağlam binanın 168'i tespit edilip

%82.8; ikinci yaklaşım ile ise 79 yıkılmış binanın 63'ü tespit edilerek %72.6 doğrulukla sonuç elde edilmiştir.

Sümer (2004), deprem sonrası yıkılmış binaların hava fotoğraflarından tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için İzmit ili, Gölcük ilçesinde bir alanın hava fotoğrafı kullanılmıştır. İki farklı yaklaşımın incelendiği çalışmada birinci yaklaşım binaların gölge oluşturulan kenarlarının tespit edilmesi ve tampon bölge oluşturularak Watershed (Havza) kesimleme algoritması kullanılarak kenarlar ile gölge arasında uyum test edilmiştir. Bu bağlamda 284 binanın 229'u tespit edilerek %80.63 doğruluk hesaplanmıştır. İkinci yaklaşımda ise, bina ışık yoğunluğu ve eğim yönü baz alınmıştır. Yoğunluk eşik değeri belirlenmiş, bina görüntülerine uygulanmış ve binaların gruplandırılması için bir piksel değeri belirlenmiştir. Devamında binaların sınıflandırılması için açı değeri belirlenmiştir. İki değer fotoğrafı işlenmesi sonucunda da 284 binanın 254'ü tespit edilerek %89.44'lük doğruluk hesaplanmıştır.

Karslı (2007), lazer tarama verilerinden bina detaylarının otomatik çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışma için Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS-International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) 3. Komisyonunun ürettiği Stuttgart şehri kent merkezi verisi kullanılmıştır. Bu işlem için sırasıyla Surfer 8 yazılımı kullanılarak siyah beyaz görüntü üretilmiş, Matlab yazılımı görüntü işleme algoritmalarıyla da bina detayları çıkarılmıştır.

Fidan (2010), kızıl ötesi hava fotoğraflarından bina detaylarının otomatik çıkarılmasında kullanılacak görüntü işleme tekniklerinin başarısını tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan görüntü 2002 yılına ait Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü ve çevresini içeren 1/16000 ölçekli renkli kızılötesi hava fotoğrafıdır. Bina detaylarının çıkarılması için Alan Büyütme (Region Growing), Ortalama Değişkenli (Mean-Shift) ve Havza (Watershed) Segmentasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin belirlediği bina detaylarının doğrulukları karşılaştırıldığında; Mean-Shift segmentasyon yöntemi tüm görüntüde %97.10 oranı ile en başarılı yöntem olmuştur.

Ok, Toprak ve diğerleri (2010), 6–8 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğrafların otomatik detay çıkarımı için yeni bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için Alman Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (DGPF–Deutsche Gesellschaft für Photogrammerie, Fernerkundung und Geoinformation) sahası olan Stuttgart Vaihingen bölgesinin, DMC kamerasıyla %70 boyuna bindirmeli çekilmiş 8 cm çözünürlüklü, ağırlıklı kırsal detay içeren stereo hava fotoğrafı; Hannover şehrinin Schneiderberg



bölgesinin, RMK TOP30 analog kamerasıyla %60 boyuna bindirmeli çekilmiş 7 cm çözünürlüklü, çatı detayı fazla binalar içeren stereo hava fotoğrafı ve Dorsten şehrinden küçük bir alanın, DMC kamerasıyla %55 boyuna bindirmeli çekilmiş 20 cm çözünürlüklü, detay sayısı çok olmayan ayrı binalar içeren stereo hava fotoğrafı verileri kullanılmıştır. Uygulamada iki boyutlu doğrusal detaylar çıkarılmış, detaylar stereo görüntülerle karşılaştırılmış ve üç boyutlu geri-çatım işlemi uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda Vaihingen, Hannover, Dorsten bölgeleri için sırasıyla %94, %92 ve %95 doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Referans Işık Algılama ve Mesafe Ölçme (LiDAR-Light Detection And Ranging) nokta kümesi verisi kullanılarak üç boyutlu olarak karşılaştırılmış ve sonuçta toplam KOH (Karesel Ortalama Hata) değeri 13.6 cm olarak hesaplanmıştır.

Torun ve Düzgün (2013), LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak veri yönelimli bir yaklaşım ile çatı detayı çıkarımı amaçlanmıştır. Bu çalışma için Los Angeles şehrinin 91500 LiDAR nokta bulutu verisine sahip sahil bölgesinde 243550 m<sup>2</sup>'lik bir alan ile 62500 LiDAR nokta bulutu verisine sahip bina detayı λ bölgesinde 10700 m<sup>2</sup>'lik bir alan veri olarak kullanılmıştır. Havadan LiDAR Nokta Bulutlarından Yaklaşık Yatay Yüzeylerinin Çıkarılması ve Bölümlenmesi (DAPHNE-Determining Approximate Horizontal surface from urban LiDAR point cloud) yaklaşımı ile veri önce ortometrik yükseklik bilgisi eklenilerek 3B kartezyen koordinat sistemine çevrilmiş (DAPHE verisi), devamında bina çatısının altında kalan detaylar ayrıştırılarak çatılar kümelerine ayrılmıştır ve her bir küme için çerçeve oluşturulmuştur. Son aşamada da ortalama yükseklik kullanılarak modelleme yapılmıştır.

Sun ve Salvaggio (2013), LiDAR nokta bulutu verisinden otomatik 3B yapı modelleri oluşturmayı amaçlamıştır. Bu çalışma için New York ve San Francisco şehirlerinden yoğun yapılaşmanın bulunduğu bölgelerin LiDAR nokta bulutu verileri kullanılmıştır. İlk adımda veri üç adet sınıfa ayrılır: zemin, bina, bitki örtüsü. Rastgele Örnek Uzlaşımı (RANSAC - RANdom SAmple Consensus) algoritması uygulanarak bina çatılarının düzlemsel yüzeyleri otomatik olarak çıkarılmıştır. Devamında çıkarılan bina çatılarının detayları çizdirilmiş ve model oluşturulmuştur.

Safarlou (2015), kentleşmenin izlenerek coğrafi veri tabanlarında sürekli yenilenmesi için uydu görüntülerinden ve mevcut haritalardan bina değişimlerinin tespiti amaçlanmıştır. Bu çalışma için 2010 yılına ait Worldview-2 uydu görüntüsü, 2001 yılında hazırlanmış vektör veri ve 2013 yılına ait stereo hava fotoğrafından oluşturulmuş sayısal yüzey modeli kullanılmıştır. Çoklu-Çözünürlüklü Segmentasyon ile komşu pikseller

gruplandırılarak; yakın komşu ve kural tabanlı sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılıp bina detayı çıkarılmış, karşılaştırma yöntemi ile bina değişimleri izlenmiş ve %82.21 başarı elde edilmiştir.

Shabani Zonouzagh (2016), artan nüfus ile birlikte artan yapılaşmanın kontrolünün sağlanması, oluşacak sorunların önüne geçilmesi ve düzenli olarak yapılaşmanın izlenebilmesi için uydu görüntülerinden bina detaylarının çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışma için 2010 ve 2011 yıllarında alınmış yüksek çözünürlüklü Worldview-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çoklu-Çözünürlüklü Segmentasyon ile komşu pikseller gruplandırılarak; yakın komşu ve kural tabanlı sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılıp bina detayı çıkarılmış, karşılaştırma yöntemi ile bina değişimleri izlenmiş ve %90 başarı elde edilmiştir.

Güler (2018), LiDAR verisi kullanılarak bina çatı detaylarının otomatik olarak çıkarılması ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için İzmir ili, Bergama ilçesi kent merkezinden seçilen üç alana ait hava LiDAR nokta bulutu verileri kullanılmıştır. İlk olarak, yer filtrelemesi işlemi sonucu elde edilen zemin veriden çıkarılarak bina sınıfı elde edilmiştir. Çıkarılan bina sınıfına Bölge Büyüme Bölütleme (Region Growing Segmentation) algoritması uygulanarak binalar kümelere ayrılmış, 3 Boyutlu RANSAC algoritması uygulanarak bina çatılarının düzlemsel yüzeyleri otomatik olarak çıkarılmış, bina çatısı düzlemleri noktalarında Gürültülü Uygulamaların Yoğunluk Temelli Mekansal Kümelemesi (DBSCAN - Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması kullanılarak gürültüler silinmiş ve bina çatısı düzlemi noktalarından sınır geçirilmiştir. Son olarak, Douglas-Peucker algoritması ile bina çatısı düzlemi sınırının sadeleştirilmesi işlemi yapılmıştır.

Zhou ve Gong (2018), Derin Sinir Ağları yöntemi kullanılarak LiDAR nokta bulutu verisinden bina detay çıkarımı amaçlanmıştır. Bu çalışma için Sandy Kasırgası öncesi 2010 yılına ait ve sonrası 2012 yılına ait, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kuzeydoğu kıyı şeridinden toplanılan, maksimum yapı yüksekliği 10 m olan binaları içeren LiDAR nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Farklı tipte nokta bulutu verisi kullanılan bu yeni yaklaşım %93 doğruluk elde etmiştir.

Wang ve diğerleri (2018), LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak Voxel Tabanlı 3B Bina Detayı Çıkarımı Algoritması (V3BD-Voxel 3B Detection) denenmiştir. Bu çalışmada Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin web sitesinden, Stuttgart'ın bir bölgesine ait, Optech ALTM tarayıcısı ile alınan, nokta aralığı 1-1.5 m olan

LiDAR nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Bir Matlab algoritması olan V3BD algoritması ile yer yüzeyi ile bina noktaları birbirinden ayrıştırılarak bina çıkarı işlemleri yapılmış ve ortalama tamlık (Completeness-Cp) %96.11, doğruluk (Correctness-Cr) %95.87 değerleri hesaplanmıştır.

Acar (2018), yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak bina çatı noktalarının otomatik çıkarılması ve gerçek Ortofoto üretimi amaçlanmıştır. Bu çalışma için Vaihingen ve Ordu ilçesinden alınan yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafı kullanılmıştır. İşleme nokta bulutu üretilerek başlanılmıştır. Pix4D programında 3B nokta bulutu ve klasik Ortofoto üretilmiştir. Devamında LAStools programındaki “lasground” fonksiyonun MATLAB yazılımına entegre edilmesiyle nokta bulutundan zemin çıkarımı işlemi yapılmıştır. Yine MATLAB ortamında RANSAC algoritması ile tüm yüzeyler sınıflandırılmıştır. Bina düzlemlerinin çıkarılması için Dr. Awrangjeb tarafından geliştirilen yaklaşım kullanılmıştır. Sırasıyla tamlık, doğruluk ve kalite (Quality-Q) değerleri Ordu için %98.1, %95.1 ve %94.1 ve Vaihingen için %94.7, %98.1 ve %93.1 olarak hesaplanmıştır.

Zhao ve diğerleri (2019), Bina detayı çıkarımı için; Vejetasyon Maske Tabanlı Bağlı Filtre (VMCF - Vegetation Mask Based Connected Filter) ile LiDAR nokta bulutu verisinin ve hava fotoğraflarının füzyonu amaçlanmıştır. Bu çalışma için ISPRS’ den alınan Almanya’nın Vaihingen bölgesine ait LiDAR nokta bulutu verisi ve hava fotoğrafları kullanılmıştır. Üç farklı alan kullanılan veride sırasıyla Cp, Cr ve Q değerleri 1. alanda %89, %96.4 ve %86.1; 2. alanda %91.8, %96.0 ve %88.4; 3. alanda %90.9, %95.5 ve %87.2 olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin İstanbul İl Sınırları İçinde Fotogrametrik Yöntemle 1/1000 ve 1/5000 Ölçekli Revizyon Hâlihazır Harita ile 1/1000 Ölçekli Ortofoto Harita Üretim İşleri projesi alanını oluşturan 101 adet fotogrametrik bloktan Kırsal/Kentsel ve Kentsel olmak üzere birer adet baz alınarak birtakım bina detayı çıkarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerle ilgili verilerin kullanılmasındaki amaç kullanılacak görüntülerin Türkiye’deki en yeni kamera ve en yüksek GSD değerine sahip kamera olan Zeiss/Intergraph DMC II ile alınmış olmasıdır.

Kırsal/Kentsel alanlardaki hava fotoğraflarının çekimi %70 boyuna, %30 enine bindirme ile Kentsel alanlardaki hava fotoğraflarının çekimi ise % 80 boyuna, %60 enine bindirmeli ve fotoğrafların tüm dış yöneltme elemanlarının bulunmasını sağlayabilecek IGI-II-d (Direct Geo-Referencing System) tekniğinden yararlanılarak yapılmıştır. Ölçülen fotoğraf koordinatları ışın demetleri yöntemi esaslarına göre ile dengelenmiştir.

Devamında ise hâlihazır haritaların hazırlanması için dengelenmiş hava fotoğrafları kullanılarak 3 boyutlu sayısallaştırma işlemi yapılmıştır. Sayısallaştırma işlemi yapılırken bina, ağaç, yol, kaldırım, elektrik direği, dere vb. tüm detaylar çizilmiştir. Yapılacak uygulama için de bu tez çalışması için bina çizimleri referans alınmıştır. Bina sayısallaştırma işlemleri her ne kadar 3 boyutlu ve fotoğraf üzerinden hızlı bir şekilde yapılmış olsa da otomatik hale getirilememiş ve 3. boyutu tam anlamıyla karşılayamamıştır. Fotoğraf üzerindeki yansımalar ve tamamen giderilemeyen rölyef hatalarından kaynaklı detayın doğru tespit edilememesine ve yanlış çizilmesine neden olmuştur. Binalar üzerine gelen yüksek bitki örtüsü nedeniyle bina detayları tahmini olarak çizilmiştir. Bina rengi ile zemin renginin aynı olduğu yerlerde bina detayının tespit edilip çizilmesi zor hale gelmiştir. Fotoğraf üzerinde tıpkı yüksek bitki örtüsü gibi bina tarafından kapanan bina detayları tahmini olarak çizilmiştir.

Bu sorunsallar dikkate alınarak sayısallaştırma işlemi 2 boyutlu detay çıkarımı ve 3 boyutlu model oluşturma noktasında kısmen otomatize edilmeye çalışılmıştır. Çalışma için Bentley Context Capture ve Pix4D programları kullanılarak nokta bulutu verisi elde edilmiştir ve KOH değerleri X, Y, ve Z'de sırasıyla 30 cm, 5cm ve 8 cm olarak hesaplanmıştır. Kırsal/Kentsel alan için nokta bulutu verisi oluşturulurken 14 fotoğraf kullanılmış olup 748.170.875 adet nokta üretilmiştir. Kentsel alan için 12 fotoğraf kullanılmış olup 49.688.670 adet nokta üretilmiştir. Tez kapsamında uygulama için en önemli olan nokta sayısı fazla ve temiz nokta bulutu verisi kullanılmasıdır.

Elde edilen veriler kapsamında Global Mapper programının yol profili uygulaması ile bina detayı çıkarımında karşılaşılan birçok sorunun giderileceği görülmüştür. Yol profil uygulaması ile detay çıkarılmak istenilen binanın enine kesiti çıkarılması ve belirlenen profil hattı boyunca bina detayının görülmesi sağlanmıştır. Uygulamanın çalışma prensibi istenilen yükseklik ve hatta tüm noktaların gösterilerek detay çıkarımını daha doğru yapmıştır. Çizilen profil hattı boyunca yan yana birçok bina alınıp bina detaylarının daha hızlı çıkarılmasını sağlamıştır.

## 1.2. Temel Kavramlar

### 1.2.1. Fotogrametrinin Tanımı ve Tarihçesi

Fotogrametri; topoğrafik görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgileri ortaya koyan, akustik enerji şekilleri ile manyetik olayların analizini de yapan bir bilim dalıdır (Kocaman,1988).

Fotogrametri biliminin tarihi Şekil 1’de görüldüğü üzere; 1783 yılında Moatgolfier kardeşlerin balonla uçmayı öğrenmesi ve 1837 yılında Niepces ve Daguerre tarafından fotoğraf bulunmasıyla Fransa’da başlamıştır. Aynı yıllarda Nadar (Gaspard-Félix Tournachon) tarafından da balon kullanılarak tarihte bilinen ilk hava fotoğrafı alınmıştır. 19. yüzyılın ilk yarısının sonlarında tarihi yapılar ve buzul hareketleri fotogrametrik olarak incelenmeye başlanmıştır. Yine bu yıllarda Zeiss fabrikası kurularak fotogrametri aletleri üretimine geçilmiştir ve fotogrametri konusunda yayınlar başlamıştır. Bu yüzyılın sonlarına doğru fotogrametri alanındaki gelişmeler bir ivme kazanmış ve analitik fotogrametrinin temel ilkelerini oluşturmuştur.



Şekil 1. Fotogrametrinin tarihi ve gelişim haritası

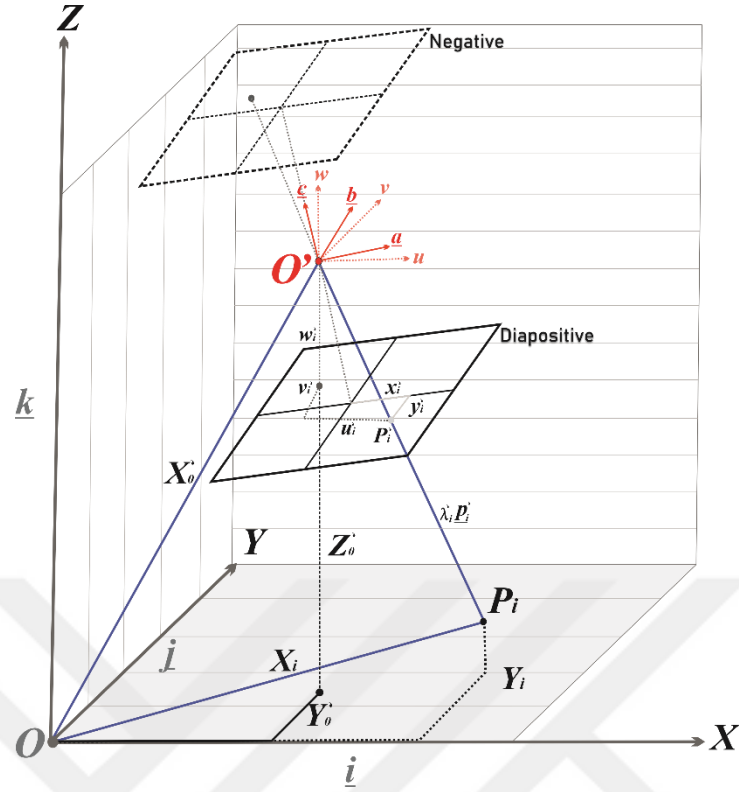
20. yüzyılın başlarında uçağın bulunması ile hava fotogrametrisi anlam kazanmış, birçok ülkede çeşitli teori ve yöntemler geliştirilerek hızla ilerlemiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok sınıfa ayrılan fotogrametri biliminin günümüzdeki durağı hava fotogrametrisi ve dijital fotogrametri olmuştur. Özellikle 1990'lı yıllardan sonra dijital (sayısal) fotogrametri, kamu kurumundan özel sektöre birçok alanda aranan bir değerlendirme yöntemi olmuştur. Ancak hava fotoğrafları ile sağlanamayan yüksek doğruluk, kalite kontrol ve tamamlayıcı bilgiler için yersel ölçümler hava fotogrametrisinin vazgeçilmez bir parçası olmaya devam edecektir (Kılıçoğlu, 2016).

Ülkemizde ise fotogrametrik çalışmalar 1925 yılında başlamış ve 1929 yılında yersel fotogrametri uygulamaları hayata geçirilmiştir. Ancak uygulamada karşılaşılan bazı engeller nedeniyle 1937 yılında hava fotogrametrisine ancak geçilmiştir (URL-1). 1937 yılından sonra sürdürülen hava fotoğraflarının değerlendirilmesi ile 5547 paftadan oluşan 1/2500 ölçekli topografik haritalar 1968 yılında Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından tamamlanmıştır. HGK çalışmaları yanı sıra Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) ve Belediyeler de standart topografik kadastral haritaların üretimini yine fotogrametrik yöntemle sürdürmektedir.

### 1.2.2. Fotogrametrik Matematik Model

Matematik model; fotoğraf uzayı ve cisim uzayı arasındaki matematiksel gösterimdir ve cisim uzayındaki noktaların fotoğraf uzayı üzerine iz düşürülmesidir. Merkezi izdüşüm bağlantıları olarak bilinen kolinearite (doğrusallık) ve koplenearite (eş düzlemlilik) esasına dayanan bu model ile yeniden konumlandırma işlemi gerçekleştirilir. Merkezi izdüşüm, fotoğraf üzerine iz düşürülen nesnelerin; şekil ve konumlarının kolayca belirlenmesini sağlamaktadır.

Yeniden konumlandırma işlemi iki adımda gerçekleştirilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi birincisi, asal uzaklık ( $c$ ) ve asal nokta koordinatlarının (iç yöneltme parametreleri/ $c, x, y$ ) hesaplanmasıdır. İkincisi, izdüşüm merkezi koordinatları ve dönüklük değerlerinin (dış yöneltme parametreleri/ $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi$ ) hesaplanmasıdır.



Şekil 2. Fotogrametrinin matematik modeli

Fotoğraf uzayı ve cisim uzayı arasındaki bu ilişki ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenir. Formüller, aşağıdaki noktalar arası üç boyutlu vektörler ile ifade edilir:

- $O$ , kartezyen nesne koordinat sisteminin orijini,  $X, Y, Z$
- $P_i$ , nesne noktası koordinatı,  $X_i, Y_i, Z_i$
- $O'$ , izdüşüm merkezi,  $X_0, Y_0, Z_0$ ,
- $OP_i$ , bu iki vektör ile mekansal bir üçgen oluşturur.
- Nesne ve resim koordinatı arasındaki ölçek faktörü  $\lambda_i$ , ve dönüklük matrisi  $R$  de gereklidir.

$$\vec{x}_i = \vec{x}_0 + \lambda'_i R \cdot \vec{p}'_i \quad (1)$$

(1) nolu eşitlik genişletilerek (2) nolu eşitlik elde edilir.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \\ Z'_0 \end{pmatrix} + \lambda'_i R \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (2)$$

Nesne koordinat sisteminin eksenlerinin ve görüntü koordinat sistemlerinin benzer yönlere işaret etmesinin kolay olması için, kamera sabiti ( $c$ ) eksi işaretiyle girilir. Her iki sistem de birim vektörleri ( $i, j, k$  ve  $a, b, c$ ) ile ortogonal olarak birbirine dik ve her eksen aynı ölçeğe sahiptir. Bu durumda matrisin tersi,  $R^{-1}$  den ters  $R$  matrisinin hesaplanmasını gerektirmez, ancak (3) nolu eşitlikte görüldüğü gibi transpozunu  $R^T$  olarak ifade edilebilir.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -f \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} R^T \begin{pmatrix} X_i - X'_0 \\ Y_i - Y'_0 \\ Z_i - Z'_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Dönüklük matrisini ( $R$ ), tanımlamanın çeşitli yolları vardır. Bu,  $x'x, x'y \dots z'z$  eksenler arasındaki açıların (5), (6), (7) ve (8) nolu eşitliklerde gösterildiği gibi kosinüs ve sinüslerinin alınmasıyla hesaplanır. Her bir dönüklük açısı için ayrı ayrı dönüklük matrisi ( $R_\omega, R_\varphi, R_\chi$ ) hesaplanır. (4) nolu eşitlikte görüldüğü üzere bu matrislerin çarpımı ile de dönüklük matrisi ( $R$ ) hesaplanır.

$$R^T = R_\omega^T \cdot R_\varphi^T \cdot R_\chi^T \quad (4)$$

$$R_\omega^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$R_\varphi^T = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$R_\chi^T = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$R^T = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \chi & \sin \chi \cos \omega + \cos \chi \sin \varphi \sin \omega & \sin \chi \sin \omega - \cos \chi \sin \varphi \cos \omega \\ -\sin \chi \cos \varphi & \cos \chi \cos \omega - \sin \chi \sin \varphi \sin \omega & \cos \chi \sin \omega - \sin \chi \sin \varphi \cos \omega \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \varphi \cos \omega \end{pmatrix} \quad (8)$$



$$R^T = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Bu denklemlerde görüntü koordinatları konumları ve dönüklükleri tıpkı  $\lambda_i$  gibi ayrıca bilinmeyen unsurlardır.

(9) nolu eşitlik eklenilerek (10) nolu eşitlik elde edilir. Bu denklemlerde devrik bağlantıların kullanılması daha uygundur.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -f \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x'_0 \\ y_i - y'_0 \\ z_i - z'_0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Kamera sabiti ( $c$ ) bilindiğinden, ilk ve ikinci denklemi üçüncü ile bölerek ortadan kaldırmak mümkündür. Bu işlem, (11) ve (12) nolu eşitliklerde gösterilen kolinearite denklemleriyle sonuçlanır. Bu bağlantı için görüntü noktası, izdüşüm merkezi ve nesne noktası düz bir çizgi üzerinde durmalıdır.

$$x'_i = -c \frac{r_{11}(X_i - X'_0) + r_{12}(Y_i - Y'_0) + r_{13}(Z_i - Z'_0)}{r_{31}(X_i - X'_0) + r_{32}(Y_i - Y'_0) + r_{33}(Z_i - Z'_0)} \quad (11)$$

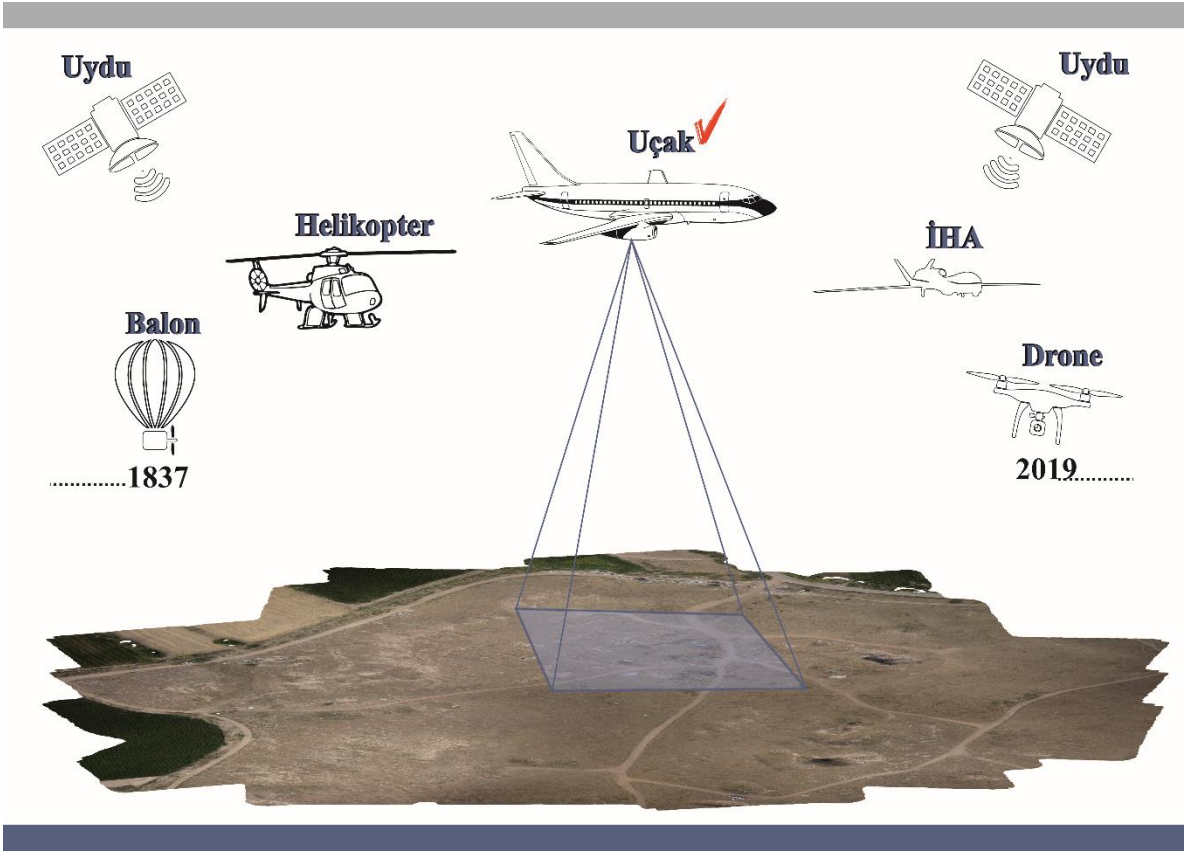
$$y'_i = -c \frac{r_{21}(X_i - X'_0) + r_{22}(Y_i - Y'_0) + r_{23}(Z_i - Z'_0)}{r_{31}(X_i - X'_0) + r_{32}(Y_i - Y'_0) + r_{33}(Z_i - Z'_0)} \quad (12)$$

ifadeleri ile elde edilir (Konecny, 2003).

### 1.2.3. Hava Fotogrametrisi

Fotogrametri uygulama alanına göre yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Hava fotogrametrisi; Şekil 3'te görüldüğü üzere, geçmişten günümüze balon, helikopter, uçak, insansız hava araçları (İHA), drone gibi hareketli platformlar yardımıyla havadan fotoğraf alımı yapılarak haritalar üreten fotogrametri tekniğidir.

Fotogrametri alanında ilk uygulamalar yersel fotogrametri ile başlanılmış fakat yersel fotogrametri yetersiz kaldığından ve hava fotogrametrisi birçok alanda kolaylık sağladığından dolayı hava fotogrametrisine geçilmiştir. İlk düşey hava fotoğrafı çekilip, araziye uygun bir şekilde haritasının yapımı işlemi 1897 yılında T. Scheimpflug tarafından yapılmıştır. Seri olarak hava fotogrametrisinin uygulanması ise motorlu uçakların ve 1915 yılında O. Mester tarafından ölçme kamerasının üretilmesiyle blok halinde arazi ölçümleri başlamıştır (Ulvi, 2015).

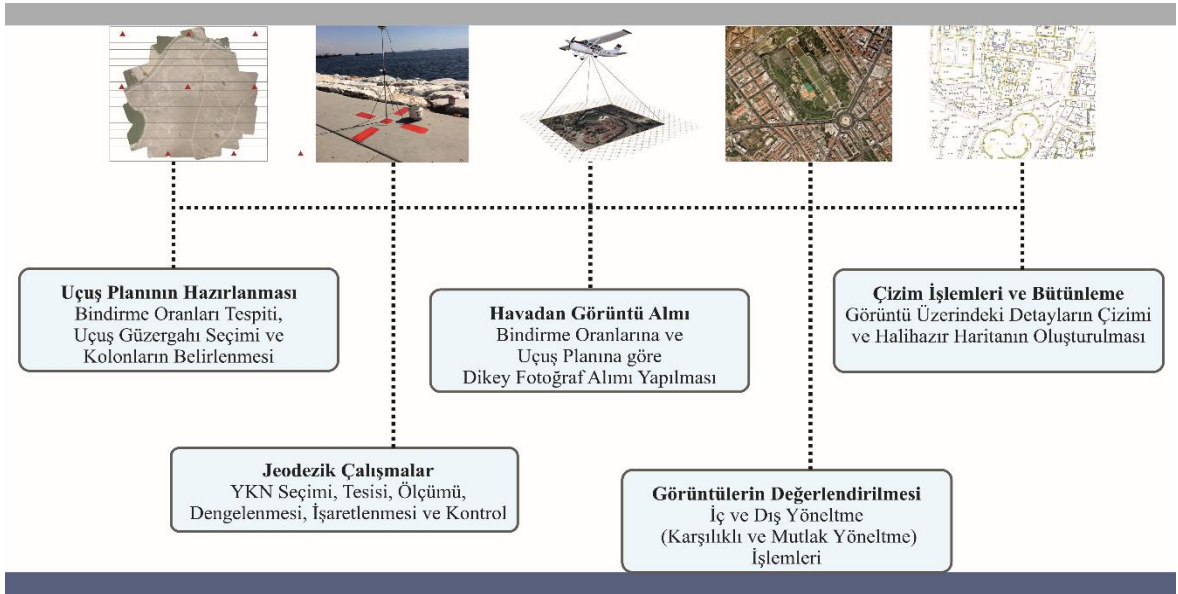


Şekil 3. Hava fotogrametrisinde geçmişten günümüze platformlar

Günümüzde birçok ihtiyaca cevap veren bu yöntem artık standart hale gelmiş ve kurumlardan özel firmalara neredeyse tüm harita yapım çalışmaları fotogrametrik yöntemlerle yürütülmeye başlanmıştır.

Şekil 4'te gösterilen hava fotogrametrisi iş akışı incelenirse; ilk olarak hâlihazır haritası oluşturulacak bölgenin 1/25000 ölçekli sayısal altlığı üzerinde bir uçuş planı hazırlanır. Uçuş planında; haritası yapılacak alanın sınırları ve ölçeği, haritası yapılacak alanı içine alacak şekilde oluşturulmuş paftalar, yer kontrol noktaları ve uçağın uçuşu

gerçekleştireceği kolonlar gösterilir. Uçuş planı hazırlanırken; uçuş yapılacak günün hava durumu (rüzgâr yönü ve şiddeti) göz önüne alınarak uçuş yönünün (doğu-batı, kuzey-güney ya da zorunlu durumlarda çapraz yönde) ve şerit sayısının belirlenmesine, hava fotoğrafı ölçeğinin belirlenmesine, kamera ve platformun (uçak, İHA vb.) belirlenmesine, kamera poz süresi ve poz aralığının belirlenmesine, görüntü bindirme oranlarının belirlenmesine, fotoğraf çekimi noktalarının yaklaşık konumlarının belirlenmesine, fotoğraf dengelemesi için kullanılacak Yer Kontrol Noktalarının (YKN) dağılımının belirlenmesine dikkat edilir (URL-2)



Şekil 4. Hava fotogrametresi iş akış şeması

YKN koordinatları, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) koordinat sistemine dayalı, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi 1996 (ITRF96 - The International Terrestrial Reference Frame 1996) datumunda ve 2005.0 referans epokunda; Jeodezik Referans Sistemi 1980 (GRS80 - Geodetic Reference System 1980) elipsoidi referans elipsoid olarak kullanılmak suretiyle üç boyutlu Kartezyen koordinatlar (X, Y, Z) ve Jeodezik koordinatlar (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği) ile üç derecelik Transversal Merkator projeksiyon sisteminde (sağa, yukarı, elipsoit yüksekliği) hesaplanır. Noktaların yükseklikleri ise Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999'a dayalı Helmert Ortometrik yükseklikleri olarak hesaplanır.

Jeodezik çalışmalar da tamamlandıktan sonra Z/I DMC ve Z/I DMCII hava kameraları kullanılarak hava fotoğrafı alımı yapılır. Uçuş plânlarının plânlanan biçimde gerçekleştirilmesi için GPS denetimli, uçuş sisteminden de yararlanır. Fotoğraf çekimi sırasında Kinematik GPS ile izdüşüm merkezinin koordinatları, nokta konum doğruluğu 10 cm'yi geçmeyecek şekilde belirlenir. Hava fotoğrafı alımı anında gelişmiş bir kinematik Ataletsel Ölçüm Ünitesi (GPS/IMU - Inertial Measurement Unit) veya Ataletsel Navigasyon Sistemi (GPS/INS - Inertial Navigation System) sistemi kullanılarak dış yöneltme elemanları doğrudan belirlenir. Fotoğraf çekim noktalarının planlanan durumdan farklı fotoğraf ölçeğinde 2 cm'yi, kamera ekseninin düşey doğrultudan sapmaları da 5<sup>s</sup>'i geçmeyecek şekilde hesaplanır.

Görüntülerin değerlendirme aşamasında stereo değerlendirme yapılır. Stereo değerlendirmenin temel amacı; iki farklı noktadan alınan fotoğraflar sayesinde üç boyutlu model oluşturularak üç boyutlu stereo çizim imkânı sağlamasıdır. Stereo değerlendirme ile modelin karşılıklı yöneltme işlemi yapılarak dönüklük ve eğiklikleri giderilir, mutlak yöneltme ile de tamamen yatay konuma getirilerek arazi ile bağlantısı kurulur.

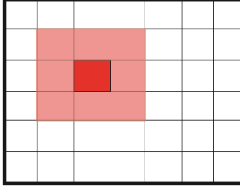
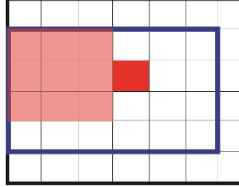




Alımı yapılan fotoğraflar dengelenir. Dengeleme işleminde atmosferik kırılma, yer küreselliği ve objektif distorsiyon hatası gibi sistematik hataları ortadan kaldıracak ek parametreler de çözüme dâhil edilir. Fiziksel parametrelere ek olarak; GPS Modu (GPS-Mode), Öteleme Modu (Drift-Mode), GPS-Anten Dışmerkezliği, INS Modu (INS-Mode), INS-Dönüklük Sınırı parametreleri ilave edilebilir.

Fotogrametrik dengelemesi yapılan fotoğraflar çizime hazır hale gelir ve çizim operatörleri tarafından stereo fotogrametrik yöntemle üç boyutlu çizim işlemi yapılır. Çizim işlemi Microstation ve Leica Photogrammetry Suite ile bağlantılı çalışan Procart programı gibi programlar kullanılarak yapılır. Çizim işlemi yapılırken kullanılan NVIDIA Gözlük sayesinde üç boyutlu görülerek çizim mouse ile tüm detaylar çizilir. Çizim işlemi tamamlandıktan sonra hâlihazır haritaya son şeklinin verilmesi için editleme işlemleri ve kartografik işlemler yapılır. Editleme işlemi için de Microstation programı ve Procart programı gibi programlar kullanılır. Editleme işlemleri ve kartografik işlemler de tamamlanarak hâlihazır haritalar baskıya hazır hale getirilir (Özbalımcı, 2007).

### 1.2.4. Dijital Fotogrametri

Fotogrametri değerlendirme alanına göre plançete fotogrametrisi, analog fotogrametri, analitik fotogrametri ve dijital (sayısal) olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Dijital fotogrametri, dijital kameralar ile alınan dijital görüntülerin bilgisayar yardımıyla değerlendirme işlemlerinin yapılmasıdır.

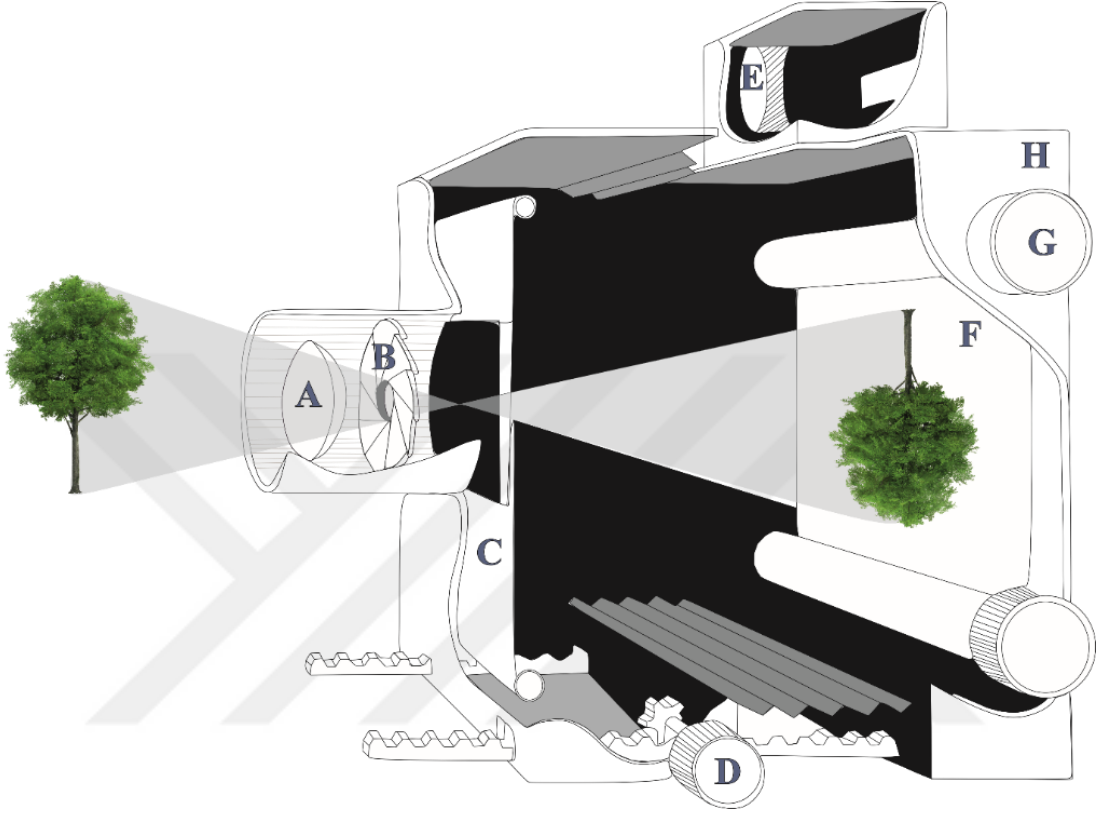
Analog ve analitik fotogrametri için kullanılan aletlerde alınan fotoğraf orta noktasının ve fotoğraf koordinatlarının ölçüleri dijital fotogrametri için de gereklidir. Dijital fotogrametri iç ve dış yöneltme ilkelerine göre yapılır. Bu bağlamda ölçümü yapılacak birinci fotoğraftaki bir noktanın ikinci fotoğrafta karşılık bulması için Görüntü Eşleştirme (Image Matching) işlemlerinin yapılması gerekir. Görüntü Eşleştirme bir görüntüdeki herhangi bir cisme ait detayın iki veya daha fazla fotoğrafta otomatik olarak bulunmasıdır. Görüntü Eşleştirme işlemi Şekil 5’de görüldüğü üzere Alana Dayalı (Area Based), Şekle Dayalı (Feature Based) ve İlişkisel Görüntü (Relational) Eşleştirme yöntemleri olmak üzere üç grupta incelenir.

Gösterimi		Eşleştirme Yöntemi	Benzerlik Ölçüsü	Eşleşen Varlıklar
		Alan Tabanlı	-Korelasyon -En Küçük Kareler	-Gri Değerler
		Nesne Tabanlı	-Uygunluk Fonksiyonu	-Kenarlar -Bölgeler
		İlişkisel (Sembolik)	-Uygunluk Fonksiyonu	-Sembolik Tanımlama

Şekil 5. Görüntü eşleme yöntemleri tablosu

### 1.2.5.Hava Fotoğrafi ve Hava Kamerası Özellikleri

Dijital ortamda, piksellerden oluşan ve her bir piksele bir renk tonunun atanması ile oluşan veriye dijital görüntü adı verilir.

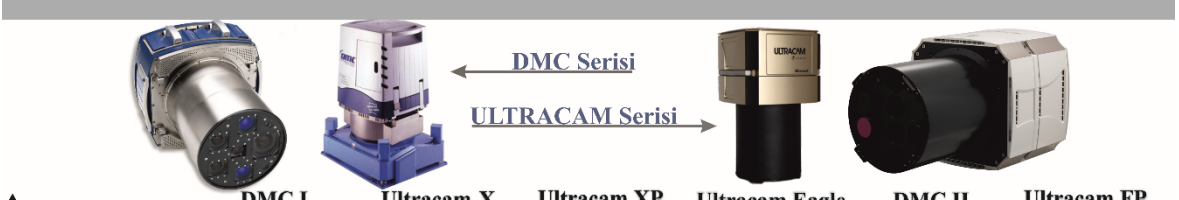


Şekil 6. Kameranın yapısı; a) mercek b) diyafram c) obtüratör d) odaklama e) görüntüleme sistemi f) film g) film nakil sistemi h) kamera gövdesi (URL-5)

Dijital görüntünün oluşabilmesi en önemli donanım kameradır. Kamera; kamera gövdesi, mercek, taşıyıcı (CCD (Yük Paylaşımlı Görüntü Elemanı-Charge Couple Device)), diyafram ve obtüratörden oluşmaktadır.

Kameranın çalışma prensibini incelenirse (Şekil-6); CCD hassasiyetine bağlı olarak, obtüratör kontrolünde diyaframdan geçen ışık, CCD tarafından mercekte toplanılarak elektronlara çevrildikten sonra manyetik ortama kaydedilir. Dijital görüntü için en önemli kamera bölümü CCD'nin görevleri; ışığı elektron şarjına çevirmek, şarjı geçici bir süre depolamak ve şarjı transfer etmektir (URL-3). Elektronik devre gibi çalışarak sensör üzerine düşen fotonları elektronlara dönüştürürler. Dijital görüntü, bu aygıt yardımı ile sayısal ortama geçirilir. CCD sensörlerin elektronları sensör üzerinden


bozulmadan aktarabilmeleri için üretimlerinde özel bir yöntem sayesinde yüksek kalitede ve çok pikselli görüntüler elde edilmesini sağlar (URL-4).



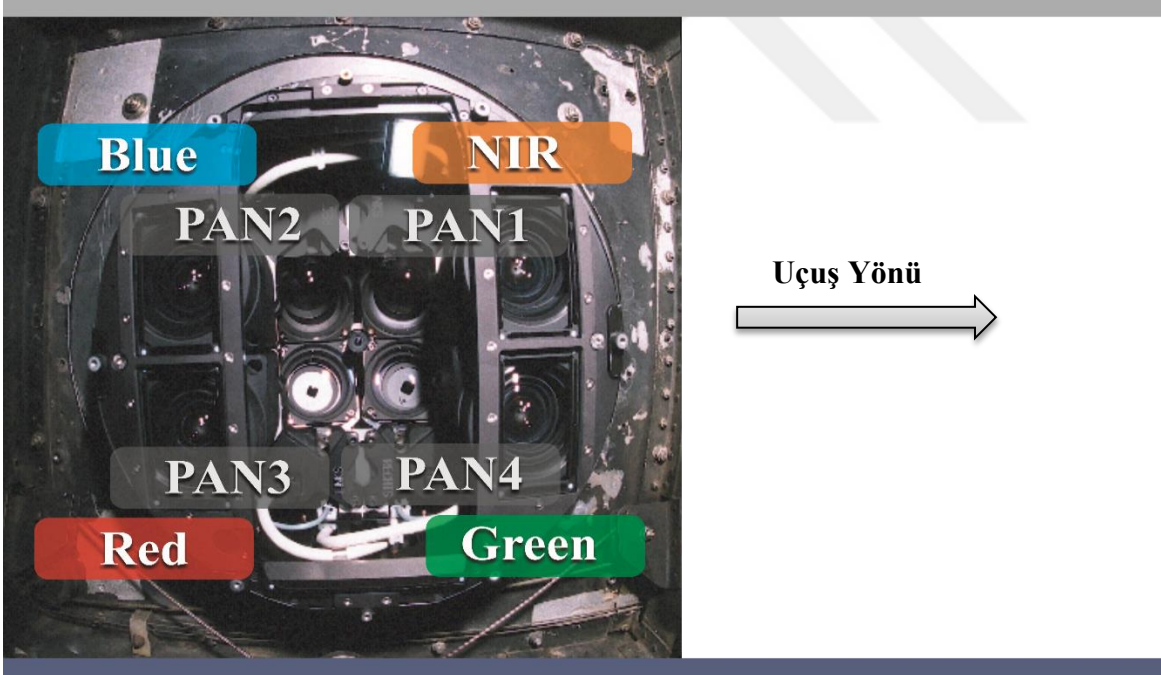
	DMC I	Ultracam-X	Ultracam XP	Ultracam Eagle	DMC II	Ultracam FP
<b>Piksel Boyutu</b>	12 µm	7,2 µm	6 µm	5,2 µm	5,6 µm	6 µm
<b>Görüş Alanı Açısı</b>	69,3° (dik) 42° (paralel)	55° (dik) 37° (paralel)	55° (dik) 37° (paralel)	66° (dik) 46° (paralel)	45,5° (dik) 38,6° (paralel)	55° (dik) 37° (paralel)
<b>Piksel</b>	13824 (sadır) 7680 (sütun)	14430 (sadır) 9420 (sütun)	17310 (sadır) 11310 (sütun)	20010 (sadır) 13080 (sütun)	16768 (sadır) 14016 (sütun)	17310 (sadır) 11310 (sütun)
<b>Odak Uzaklığı</b>	120 mm	120 mm	100 mm	80 mm	112 mm	70 mm
<b>A/D Bant Başına Çözünürlük</b>	12 bit	>12 bit	>12 bit	>>12 bit	14 bit	>>12 bit
<b>Veri depolama Kapasitesi</b>	840 GB	1,7 TB	4,2 TB	3,3 TB	2 TB	3,3 TB
<b>Yer Örnekleme Aralığı (GSD)</b>	10 cm	6 cm	6 cm	6,5 cm	5 cm	8,5 cm

Şekil 7. Türkiyedeki hava kameraların özellikleri (GSD, 1000 m yükseklik için hesaplanmıştır.)

Bu tez çalışmasında kullanılan görüntüler; TKGM'ye ait Beechcraft King Air 350i model ve TC-KDR ve Britten Norman Islander BN-2T model ve TC-TKG çağrı adlı uçakları ve Zeiss/Intergraph DMC I ve DMC II hava kameraları ile alınmıştır. Kamera bilgileri Şekil 8 ve 9'da gösterilmiştir. Şekil 7' de görüldüğü üzere DMC I ve DMC II kameralarının dışında da kullanılan kameralar vardır.

<b>Z/I DMC</b>		
<b>Piksel Boyutu</b>	: 12µm	
<b>Görüş Alanı Açısı</b>	: 69,3° (uçuş istikametine dik) 42° (uçuş istikameti)	
<b>Piksel</b>	: 13824 (sadır) 7680 (sütun)	
<b>Odak Uzaklığı</b>	: 120 mm	
<b>A/D Bant Başına Çözünürlük</b>	: 12 bit	
<b>Veri depolama Kapasitesi</b>	: 840 GB	
<b>Z/I DMC II</b>		
<b>Piksel Boyutu</b>	: 5,6 µm	
<b>Görüş Alanı Açısı</b>	: 45,5° (uçuş istikametine dik) 38,6° (uçuş istikameti)	
<b>Piksel</b>	: 16768 (sadır) 14016 (sütun)	
<b>Odak Uzaklığı</b>	: 112 mm	
<b>A/D Bant Başına Çözünürlük</b>	: 14 bit	
<b>Veri depolama Kapasitesi</b>	: 2 TB	

Şekil 8. Dijital hava kamerası özellikleri

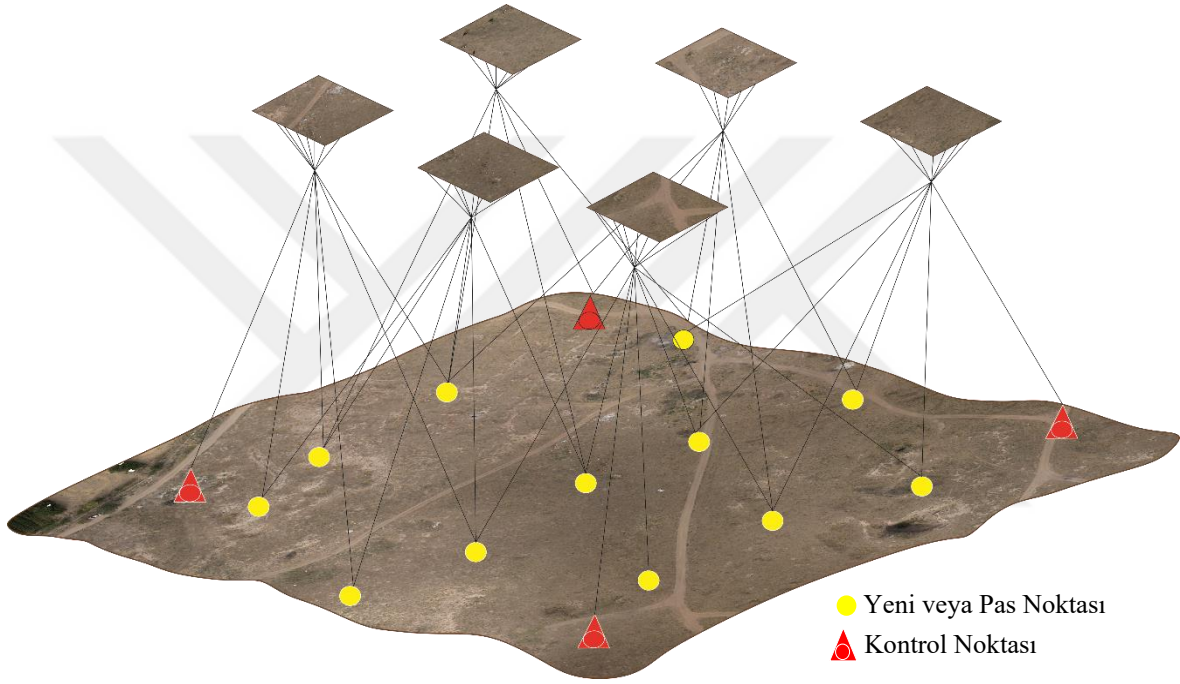


Şekil 9. Dijital hava kamerası sensörleri



### 1.2.6. Işın Demetleriyle Blok Dengeleme

Bir kolon veya fotoğraf bloğunun ışın demetleri ile dengelemesi mantığı; en az %60-90 boyuna bindirme ve %20-60 enine bindirme ile model koordinatlarını içeren herhangi bir ara işlem olmadan, görüntü koordinatı ile arazi koordinatı arasındaki ilişkinin çözülmesidir. Bundan dolayı, ışın demetleri dengelemesi için temel ürün fotoğraf, temel ölçü ise fotogrametrik nirengi ve yer kontrol noktalarının resim/görüntü koordinatlarıdır (Kraus, 2004).



Şekil 10. Işın Demetleri ile blok dengelemesi

İlk olarak bir görüntünün koordinatları ve projeksiyon merkezi ile bir ışın demeti tanımlanır. Işın demetlerinin dış yöneltme parametreleri yardımı ile de tüm bloktaki fotoğraflara eş zamanlı olarak ışın demeti tanımlanır. Şekil 10'de görüldüğü gibi hem kontrol noktaları mümkün olduğunca alınır hem de bağlantı noktalarına karşılık gelen ışınlar da kesişir (Kraus, 2004).

Işın demetleri ile blok dengelemesinin yapılabilmesinde en önemli husus olan resim koordinatları ile arazi koordinatları arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması için (13), (14), (15) ve (16) nolu eşitliklerde ifade edilen kollinarite eşitliklerinin çıkarılması gerekmektedir. Kollinarite eşitlikleri de dış yöneltme parametreleri  $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \chi)$ , arazi koordinatları  $(X, Y, Z)$  ve resim koordinatlarından  $(x, y, c)$  oluşmaktadır.

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = x_0 - c \frac{Z_x}{N} \quad (13)$$

$$x = f(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \chi, X, Y, Z) \quad (14)$$

$$y = y_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = y_0 - c \frac{Z_y}{N} \quad (15)$$

$$y = f(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \chi, X, Y, Z) \quad (16)$$

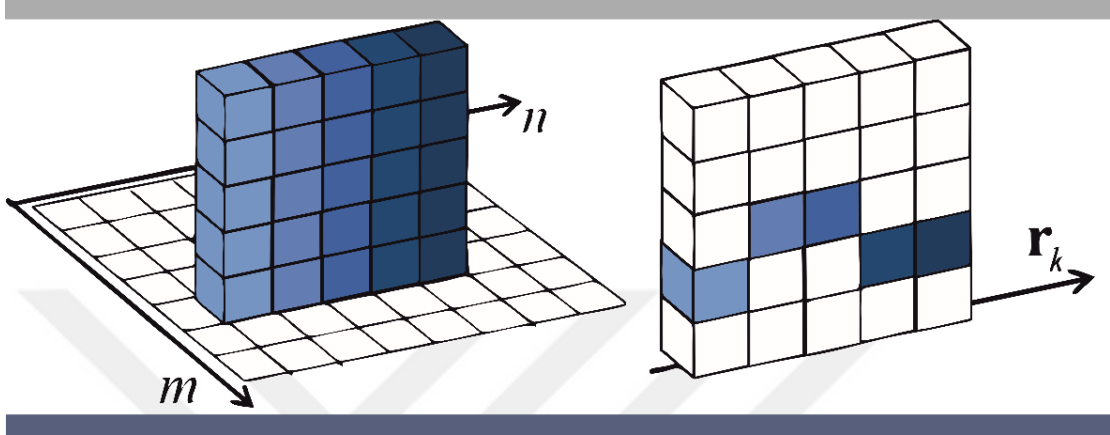
### 1.2.7. Nokta Bulutu Üretimi

Dijital kameralardan üretilen görüntülerin kalitesi ve doğruluğu hem ürünlerin artmasına hem de birçok algoritmanın gelişmesine imkân sağlamıştır. Bu görüntüleri aktif olarak kullanan dijital fotogrametri; hâlihazır harita yapımı, SAM (Sayısal Arazi Modeli), SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) ve DSM (Dijital Yüzey Modelleri-Digital Surface Models) üretimi, 3B Kent Modelleri, Ortofoto ve Doğru Ortofoto üretimi, Nokta Bulutu üretimi vb. gibi birçok ürün yüksek çözünürlükte ve yüksek doğrulukta üretilmektedir. Tez kapsamında kullanılan ürün ise dijital görüntülerden eşleştirme yöntemi ile üretilmiş nokta bulutudur. Dijital hava görüntüsü kullanılarak üretilen nokta bulutu verisi için Context Capture ve Pix4D yazılımları kullanılmıştır. Yazılımlardaki nokta bulutu oluşturma işlemi DIM (Yoğun Görüntü Eşleştirme-Dense Image Matching) prensibine dayanmaktadır.

DIM, görüntünün her bir pikseli için derinlik değeri hesaplamayı amaçlamaktadır (Şekil 11). Bu, doğru ve kaliteli DSM oluşumunu kolaylaştırmaktadır. DIM için SGM (Semi-Global Matching) yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım görüntü eşleme penceresi yerine piksele komşu tüm pikselleri kullanarak eşleme yapar (Haala, 2011). SGM yaklaşımı ile oluşturulan “global cost” fonksiyonu en düşük seviyeye indirilmeye çalışılmaktadır. Bu fonksiyon ile her eşleme arasındaki farklılıklar ölçülerek eşleştirmenin kalitesi belirlenir ve eşleşen pikseller arasındaki farklılıkların ölçülmesi yoluyla radyometrik farkların ve pürüzlerin modellenmesi amaçlanır. “global cost” fonksiyonu (17) nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır. Verilen bağlantı tüm pikseller ( $p$ ) üzerindeki hata değerlerini ( $C$ ) toplar. En küçük hatalar  $P_1$  ile en büyük hatalar  $P_2$  ile ifade edilir.

$$E(D) = \sum_p (C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1]) \quad (17)$$

şeklinde ifade edilir (Hirschmüller, 2012).



Şekil 11. Yoğun Görüntü Eşlemede m, n ve  $r_k$  ekseninde "global cost" fonksiyonu kalitesi

Bu yaklaşımın getirdiği en büyük yenilik; eşleştirme işleminin tek bir yönde (1D) yapılması yerine eşlenecek piksele komşu olan bütün yönlerde yapılmasıdır.

### 1.2.8. Global Mapper Programı LiDAR Modülü

Bu program; LiDAR veya eşleştirme ile üretilen nokta bulutu verilerini kırma, sınıflandırma, gelişmiş filtreleme yöntemleri ile filtreleme ve bu verilerin özneteliklerini düzenleme, koordinat sistemine oturtulmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu verileri kullanarak 2B otomatik bina çizimi ve 3B bina modeli oluşturmayı sağlamaktadır.

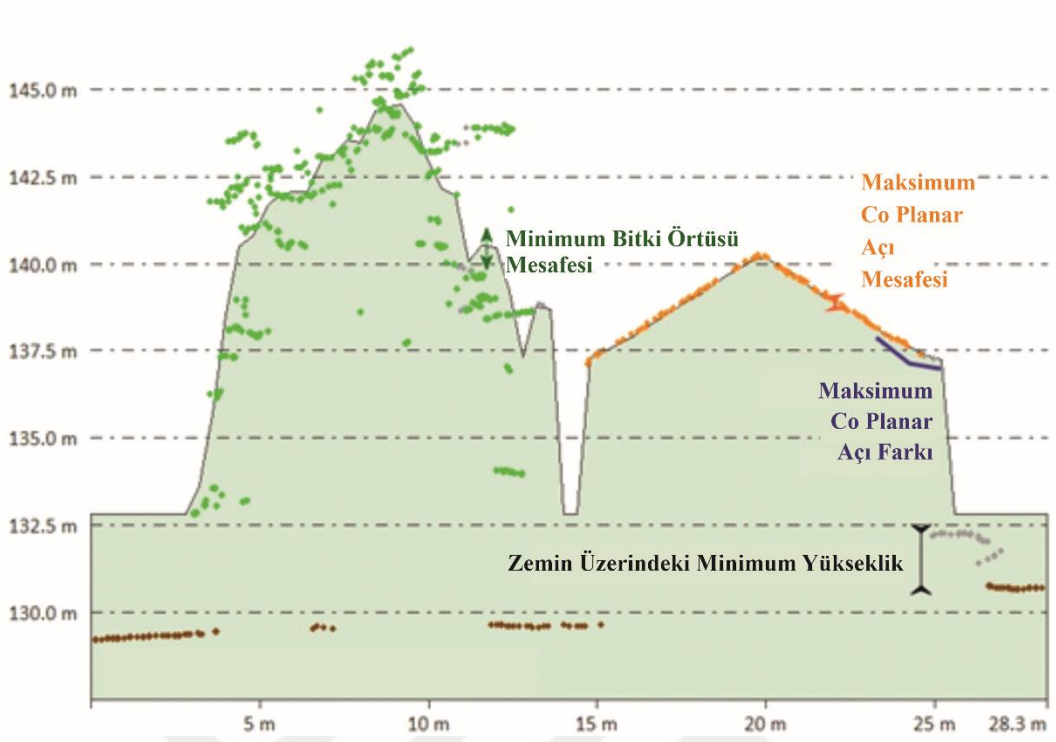
LiDAR verisi ile işleme başlamadan önce sınıflandırma işlemi yapılarak veri filtrelenmektedir. Zemin ve zemin üstü (bitki örtüsü ve bina) sınıflandırma işlemleri bina detayı çıkarımı için kullanılmaktadır. Özellikle 3B için kullanılacak zemin noktaları sınıflandırılırken bir alan oluşturur (3 nokta boyutu) ve bu alan ile bir çerçeve oluşturarak tüm veriyi gezer. Devamında ise en küçük yer üstü noktasının yüksekliği girilerek (0.3 m) herhangi bir yer üstü noktasının yer yüzeyi noktası olarak belirlenmemesi amaçlanır. Son olarak da yer yüzeyi noktası olması muhtemel olmayan noktalar için en küçük ve en büyük

değerler girilir (maksimum bina yüksekliği 100 m). Veri belirlenen alan ile bu verileri de hafızasına alarak veriyi gezer ve zemin noktaları sınıflandırılmış olur (Şekil 12).



Şekil 12. Zemin detayı çıkarılmış nokta bulutu verisi; a) nokta bulutu b) zemin detayı çıkarıldığı nokta bulutu

Bina sınırlarını otomatik çizdirebilmek için önce bina sınıfının oluşması gerekir. Bu işlemi yaparken Şekil 13'te gösterilen parametrelere dikkat edilmektedir. Program yer üstü noktalarını sınıflandırırken kendine yine bir alan (0.4 m) belirler. Bu değer ne kadar küçük girilirse o kadar net ya da doğru sonuç elde edilir. Ardından en küçük yüksek bitki örtüsü ve bina yüksekliği (2 m) girilir. Buradaki dezavantaj, bu yükseklikte araba bile varsa onu da bina ya da ağaç sınıfına alır. Son olarak da en küçük bitki örtüsü yüksekliği (0.15 m) ve açı eşikleri girilir. Bu değerler ile belirlenen kutucuk veriyi gezer ve bina detayı noktalarını belirler.

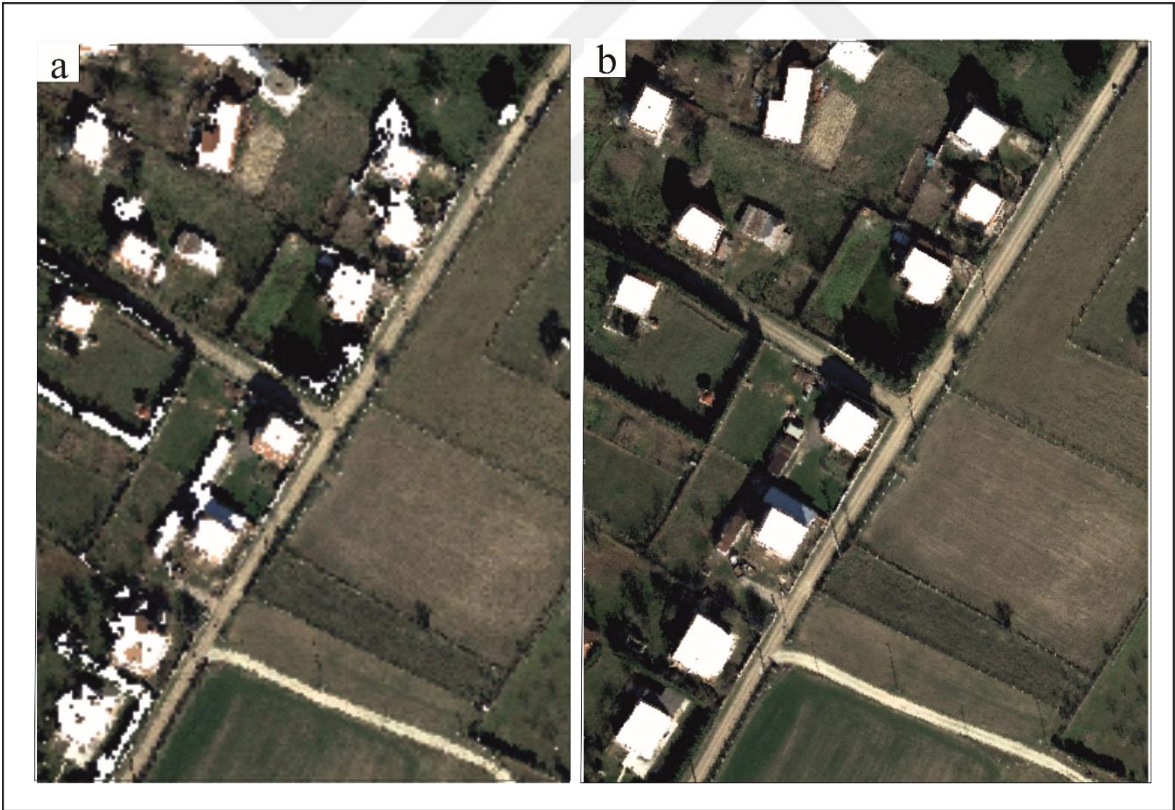


Şekil 13. Bina detayına ait noktaların sınıflandırılması maksimum ve minimum değerleri (URL-6)

Bina sınırlarını otomatik çizdirebilmek bina noktalarının tamamen çıkarılması gerekmektedir. Otomatik sınıflandırma işlemi yüksek doğrulukla bina noktalarının sınıflandırmaktadır (Şekil 14). Kalan bina noktaları manuel sınıflandırılmaktadır (Şekil 15).



Şekil 14. Bina detayı çıkarılmış nokta bulutu verisi; a) yer üstü nokta sınıflarının çıkarıldığı nokta bulutu b) bina sınıfının çıkarıldığı nokta bulutu



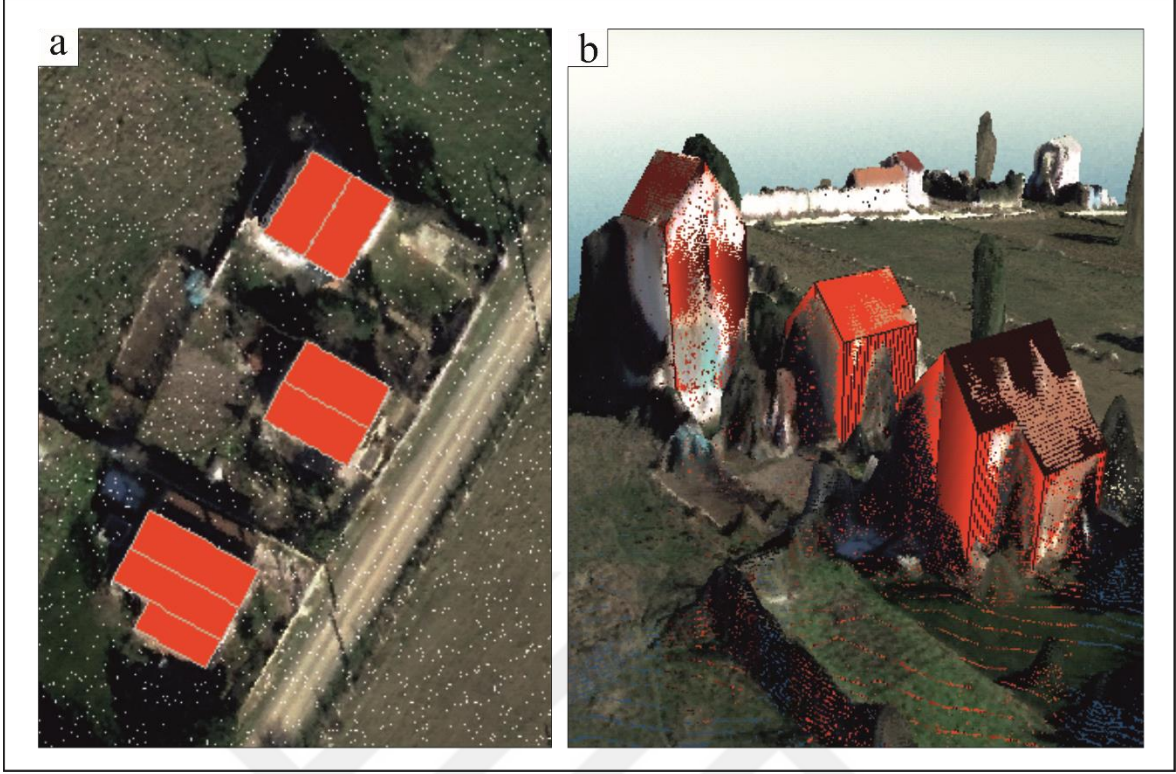
Şekil 15. Bina detay noktaları tamamen çıkarılmış nokta bulutu verisi; a) bina sınıfının kısmen çıkarıldığı nokta bulutu b) bina sınıfının tamamen çıkarıldığı nokta bulutu

Sınıflandırma sonucu elde edilen bina nokta bulutu kullanılarak binaların otomatik sınırları çizdirilir. Bu işlem için dikkat edilmesi gereken en önemli nokta verinin çözünürlüğüdür. Yine bir alan belirler. Çözünürlük küçükse büyük alan; çözünürlük büyükse küçük alan girilir. Son olarak da bina için eğik değerler girilerek detay çıkarımı yapılır. Şekil 16'de görüldüğü gibi, bina sınıfı tamamen çıkarılmış nokta bulutu verisi ile birçok bina otomatik olarak çizilir.



Şekil 16. Otomatik olarak örnek veri alanında çizilmiş 2B bina sınırları; a) bina sınıfı tamamen çıkarılmış nokta bulutu b) bina detayı otomatik çıkarılmış nokta bulutu

3B bina modeli oluşturma işlemi için ilk olarak bina çatı detayları çizilir. İşlem bir kesit çıkarma işlemidir. Çatı detayı çıkarılacak binanın üzerinden bir profil hattı geçirilir. Profil hattı kapladığı alan boyunca zeminden çatıya kadar bütün noktaları göstermektedir. Kesit boyunca çatının köşe noktaları işaretlenerek başlangıç ve bitiş noktalarını belirlenir. Burada çizilen bina çatı detayı için öz nitelik (Building-Roof) belirlenir ve çatı boyunca sınıflandırılan zemin referans alınarak 3B bina modeli oluşturulur (Şekil 17).



Şekil 17. 3B bina modeli; a) bina detayının profil ile otomatik çizilmiş b) 3B bina modeli

### 1.2.9. Referans Veri Seti Oluşturulması

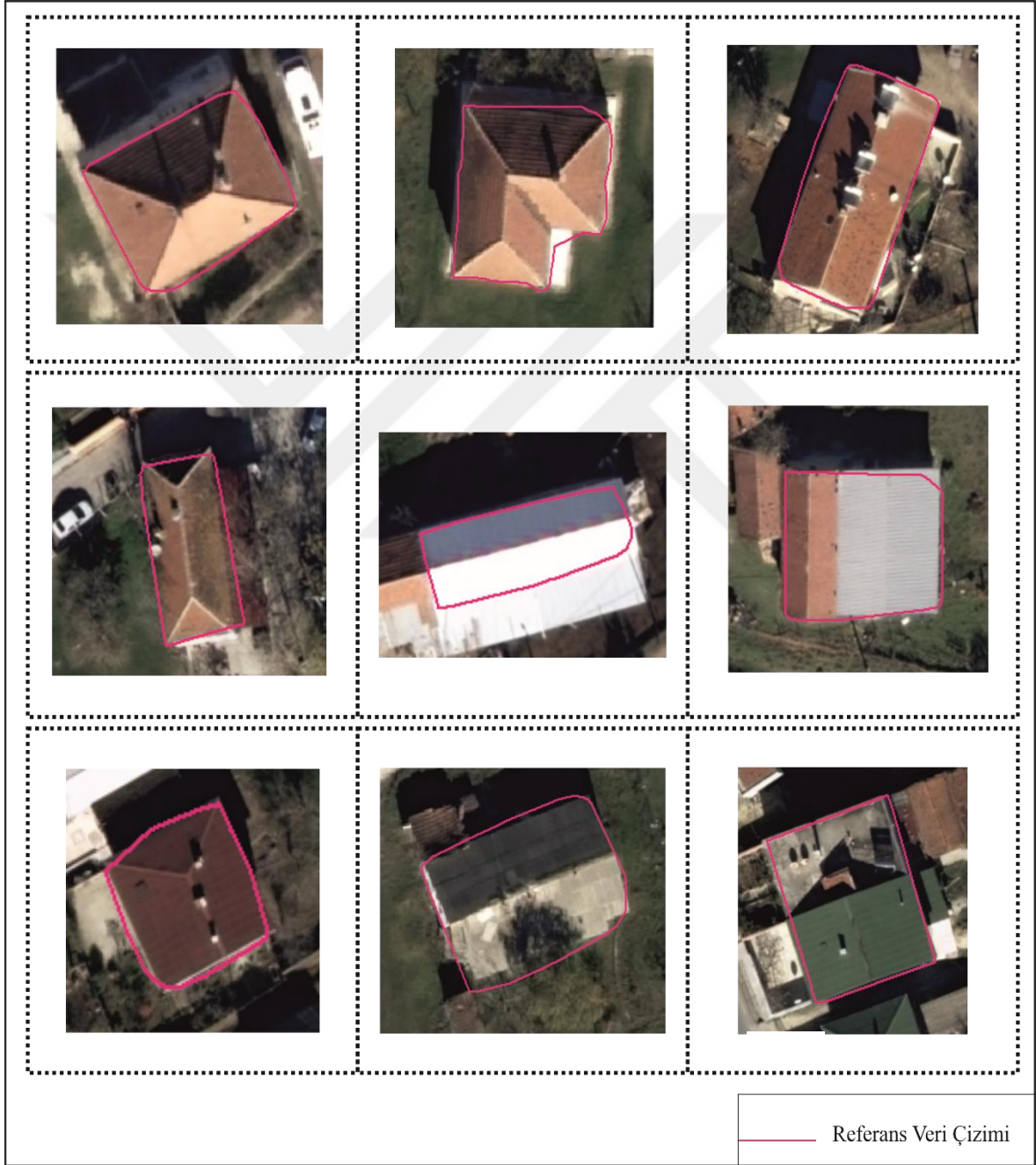
Yapılan tez çalışmasında diğer iş adımı ise; uygulama ile elde edilen sonuç verinin referans veri ile değerlendirilmesi ya da karşılaştırılması adıımıdır. Bu tez kapsamında sonuç ürünü değerlendirmek için iki farklı referans veri kullanılmıştır.

Referans verilerinden ilki stereo fotogrametrik tekniğe çizilen vektör veridir. Fotogrametrik dengelemesi yapılan fotoğraflar, Microstation ve Leica Photogrammetry Suite ile bağlantılı çalışan Procart programı ile NVIDIA Gözlük (üç boyutlu görüş sağlar) ve çizim mouse kullanılarak operatörler tarafından stereo fotogrametrik yöntemle üç boyutlu çizim işlemi yapılmıştır. Çizimi tamamlandıktan sonra düzeltme işlemleri de yapılan referans verisi 3B hâlihazır harita verisidir. Bu veri şekil 19’de görüldüğü üzere çalışma alanı üzerine atılarak ilk referans tabakası oluşturulur.

Diğer bir veri seti ise MATLAB yazılımında hazırlanmış çatı detayı çıkarma yazılımıdır. Yazılım, Global Mapper profil uygulaması gibi detayı çıkarılacak binayı içine alan bölgedeki tüm noktaları içerecek şekilde bir kesit çıkartmaktadır. Çıkarılan bu kesit yardımıyla çatının başladığı yükseklik belirlenerek o yükseklik altında kalan noktalar silinmektedir. Böylece sadece çatı detayına ait noktalar bulunmakta ve tüm gürültüler

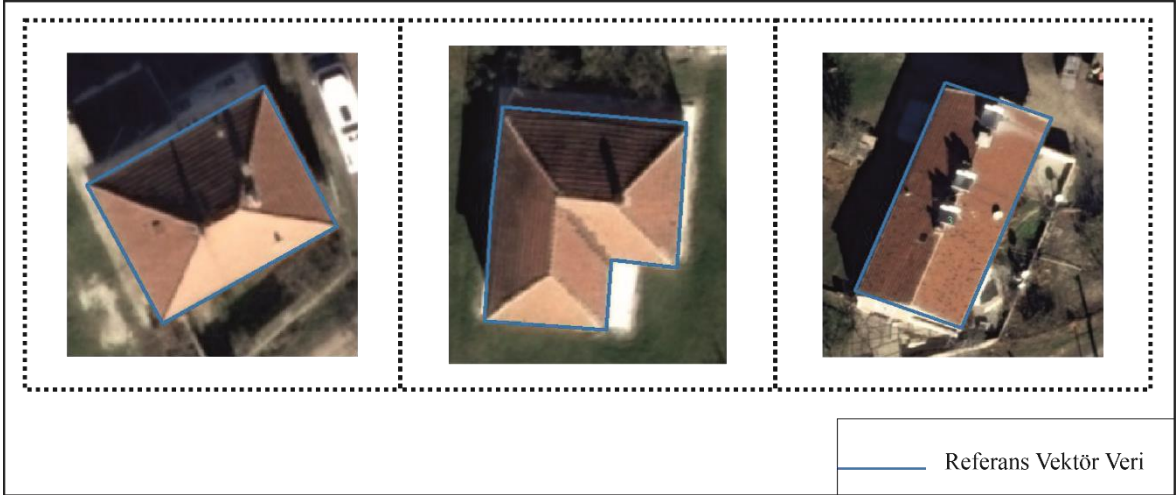


giderilmektedir. İşlem sonunda noktalar etrafından sınır geçirilerek detay çıkarımı işlemi tamamlanmaktadır. Elde edilen veri ile çalışma alanı üzerine atılarak ikinci referans tabakası oluşturulur. MATLAB yazılımında \*.shp formatında kaydedilen veri, Global Mapper gibi \*.shp formatı kabul edilen programlarda açılır. Şekil 18’da görüldüğü üzere oluşturulan veri yine aynı programda nokta bulutu ya da ortofoto tabakası oluşturularak çakıştırılır.



Şekil 18. Kırsal/Kentsel çalışma alanı Matlab yazılımında hazırlanmış referans bina detayı çıkarımı

Şekil 18'in devamı



Şekil 19. Kırsal/Kentsel çalışma alanı için hazırlanmış vektör bina çizimi

Şekil 19'un devamı



### 1.2.10. Doğruluk Analizi Yöntemleri

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler bir takım doğruluk analizi yöntemleriyle değerlendirilerek sonuç ürünün kalitesi ölçülmektedir. Bu sayede literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılabilmesi de sağlanmaktadır.

Bu yöntemlerden bir tanesi (18), (19) ve (20) nolu eşitliklerde ifade edilen tamlık, doğruluk ve kalite analizidir. Bu analiz, çalışma sonrası üretilen veri ile referans verisinin karşılaştırılması mantığına dayanan çalışmada verideki her detay için Şekil 20’de şematize edilen doğruluk yanlışlık ve pozitiflik negatiflik (True Possitive/TP, True Negative/TN, False Possitive/FP, False Negative/FN) sorgulaması yapılarak verinin kalitesi ölçülmektedir. Tamlık, doğruluk ve kalite analizleri için TP, FP ve FN değerleri girilir. Tamlık analizi sonuç üründe üretilen toplam bina detaylarına göre hesaplanır. Doğruluk analizi referans veride üretilen toplam bina detaylarına hesaplanır. Kalite analizi ise toplam detay sayısına göre hesaplanır.

$$Tamlık (Cp) = \frac{TP}{TP + FN \text{ (Sonuç verideki bina detayları toplamı)}} \quad (18)$$

$$Doğruluk (Cr) = \frac{TP}{TP + FP \text{ (Referans verideki bina detayları toplamı)}} \quad (19)$$

$$Kalite (Q) = \frac{TP}{TP + FP + FN \text{ (Verideki tüm detayların toplamı)}} \quad (20)$$



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında Kırsal/Kentsel alan ve Kentsel alan olmak üzere iki farklı alan seçilmiştir. Şekil 21’de gösterilen akıştaki gibi önce seçilen alanların hava fotoğrafları kullanılarak iki farklı programda 3B nokta bulutu üretilmiştir. Devamında da Global Mapper programında ilk olarak zemin tabakası sınıflandırılmış ve yol “path profile” yardımıyla, üretilen nokta bulutu üzerinde farklı tiplerde binalar yarı otomatik olarak çizilerek 3B modelleri oluşturulmuştur. Referans altlık oluşturulması için de Matlab yazılımında geliştirilen algoritmalar ile aynı işlem uygulanarak bina detayları çıkarılmıştır. Elde edilen tüm veriler ve vektör veri karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.



Şekil 21. Çalışmanın İş Akış Şeması

## 2.1. Çalışma Alanı

### 2.1.1. Kırsal/Kentsel Alan Veri Seti

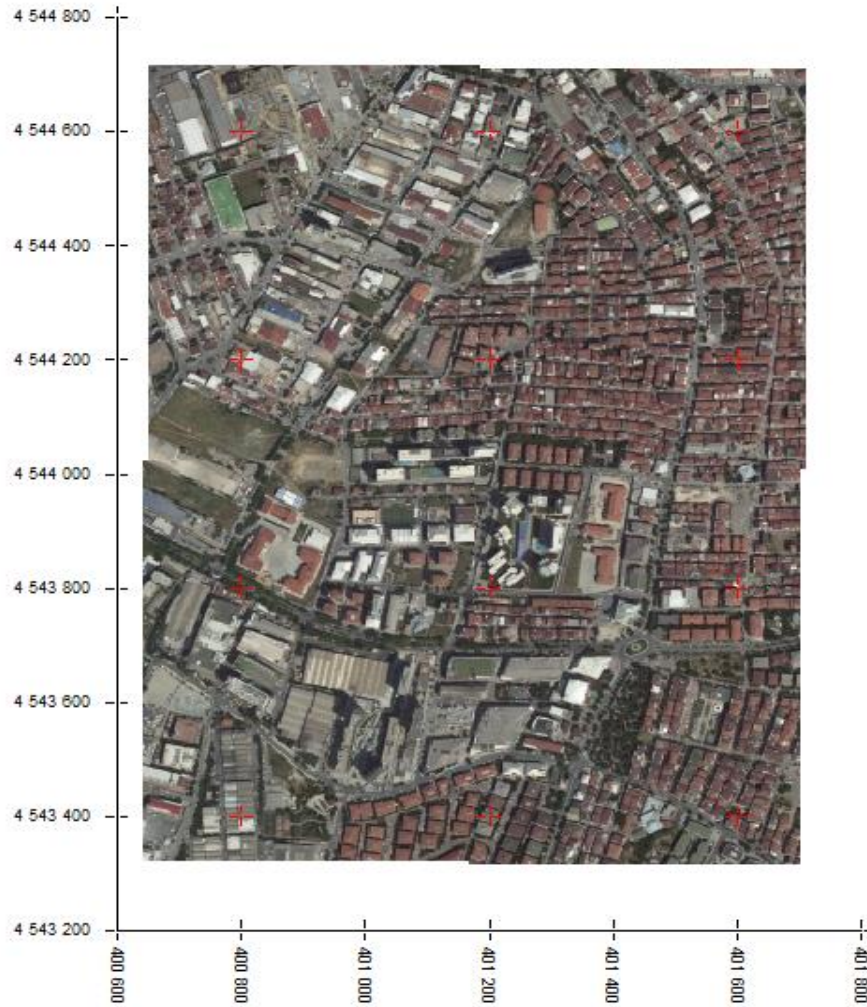
Tez kapsamında birinci çalışma alanı olarak yüksek çözünürlüklü, pankromatik, renkli ve kızılötesi özellikli (PAN-RGB-NIR) görüntüler içeren, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin İstanbul İl Sınırları İçinde Fotogrametrik Yöntemle 1/1000 ve 1/5000 Ölçekli Revizyon Hâlihazır Harita ile 1/1000 Ölçekli Ortofoto Harita Üretim İşİ proje alanı Zeiss/Intergraph DMC I kamerası ( $c=120$  mm, ortalama uçuş yüksekliği: 1000 m, yer örnekleme aralığı (YÖA/GSD)= 10 cm) ile elde edilmiş ve 1 adet Kırsal/Kentsel blok çalışma için seçilmiştir. İlk aşamada bütün bölgeye ait görüntüler Context Capture yazılımında bölgenin yüksek çözünürlüklü renkli-kızılötesi 14 fotoğraf kullanılmış olup 748.170.875 adet nokta içeren nokta bulutu verisi üretilmiştir. Şekil 22'de Kırsal/Kentsel çalışma alanı görülmektedir.



Şekil 22. Kırsal/Kentsel Çalışma Alanı Genel Görünümü

### 2.1.2. Kentsel Alan Veri Seti

Tez kapsamında ikinci çalışma alanı olarak yüksek çözünürlüklü, pankromatik, renkli ve kızılötesi özellikli (PAN-RGB-NIR) görüntüler içeren, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin İstanbul İl Sınırları İçinde Fotogrametrik Yöntemle 1/1000 ve 1/5000 Ölçekli Revizyon Hâlihazır Harita ile 1/1000 Ölçekli Ortofoto Harita Üretim İşleri proje alanı Zeiss/Intergraph DMC II kamerası ( $c=112$  mm, ortalama uçuş yüksekliği: 1000 m, yer örnekleme aralığı (YÖA/GSD)= 5 cm) ile elde edilmiş ve 1 adet kentsel blok çalışma için seçilmiştir. İlk aşamada bütün bölgeye ait görüntüler Pix4D yazılımında bölgenin yüksek çözünürlüklü renkli-kızılötesi 12 fotoğraf kullanılmış olup 49.688.670 adet nokta içeren nokta bulutu verisi üretilmiştir. Şekil 23'de Kentsel çalışma alanı görülmektedir.

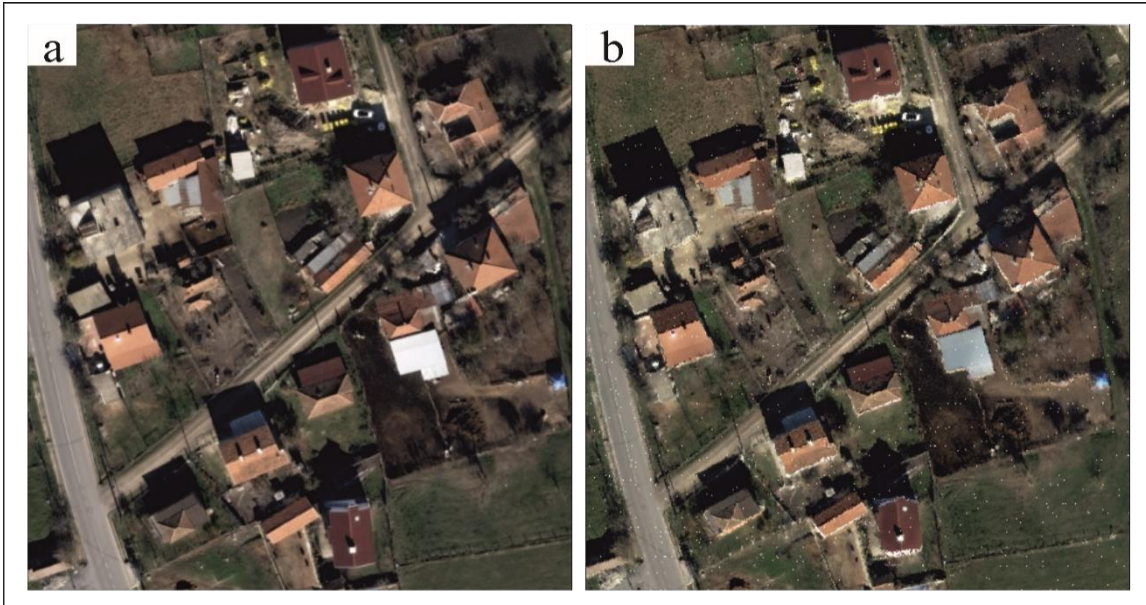


Şekil 23. Kentsel Çalışma Alanı Genel Görünümü

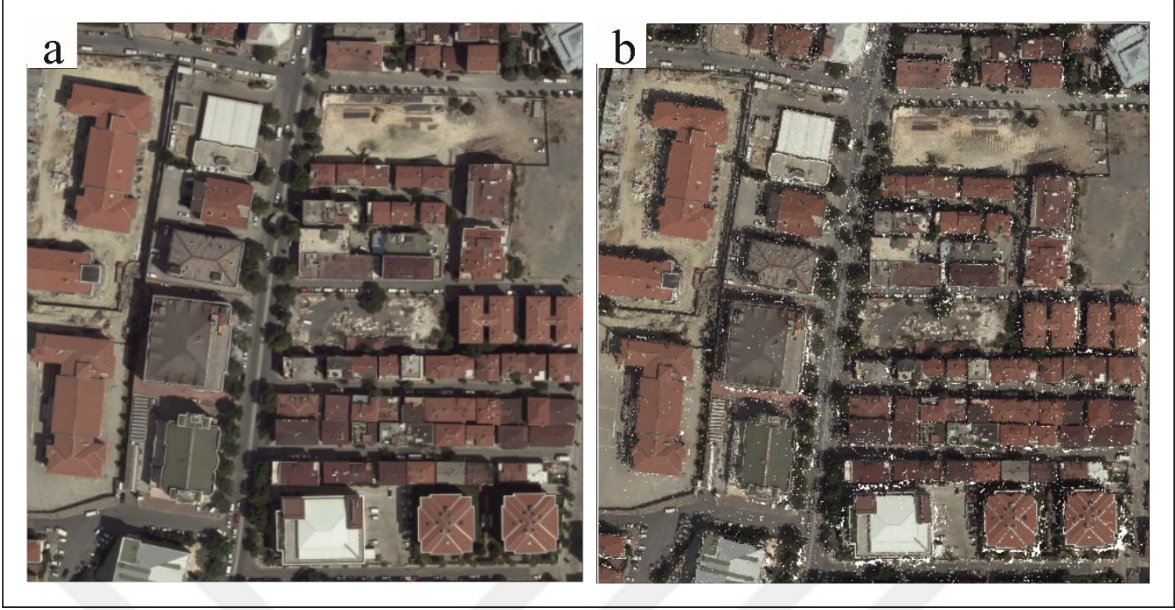


## 2.2. Çalışma Alanlarına Ait Görüntüler ile Nokta Bulutu Üretimi

“Çalışma Alanı ve Kamera Özellikleri” bölümünde de belirtildiği üzere hava fotoğrafları; spektral duyarlılığı mavi bantta 400-580 nm, yeşil bantta 500-650 nm, kırmızı bantta 590-675 nm ve yakın kızılötesi bantta 675-850 nm, radyometrik çözünürlük 12 bit, her bir pikseli 12 mikrometre büyüklüğünde ve mekânsal çözünürlüğü 10 cm (1000 metre yükseklikte) olan Z/I DMC sayısal kamerası (URL-8) ve spektral duyarlılığı yeşil bantta 520-600 nm, kırmızı bantta 630-690 nm ve yakın kızılötesi bantta 770-900 nm (URL-9), radyometrik çözünürlük 14 bit, her bir pikseli 5.6  $\mu\text{m}$  büyüklüğünde ve mekânsal çözünürlüğü 5 cm (1000 metre yükseklikte) olan Z/I DMC II kamerası ile pankromatik, renkli ve yakın kızıl ötesi görüntüler olarak elde edilmiştir. Bu görüntüler için; DIN algoritmasını kullanan programlar (Pix4D ve Context Capture) kullanılarak nokta bulutu üretilmiştir. Kırsal/Kentsel Veri Seti için, 14 görüntü kullanılmış olup 748.170.875 adet nokta içeren nokta bulutu verisi üretilmiştir. Şekil 24’te görüldüğü gibi 1/1000 ölçekte bir kesiti alınan ortofoto ile üretilen nokta bulutu verisi kıyaslanmıştır. Kentsel Veri Seti için, 12 görüntü kullanılmış olup 49.688.670 adet nokta içeren nokta bulutu verisi üretilmiştir. Şekil 25’den görüleceği üzere 1/1000 ölçekte bir kesiti alınan ortofoto ile kıyaslanmıştır. İki veri seti için de üretilen nokta bulutu verileri yeterli görüldüğünden başka bir programda işlem yapılmamıştır.



Şekil 24. Kırsal/Kentsel çalışma alanına ait bir bölgenin 1/1000 ölçekli a) ortofoto ve b) nokta bulutu görüntüleri



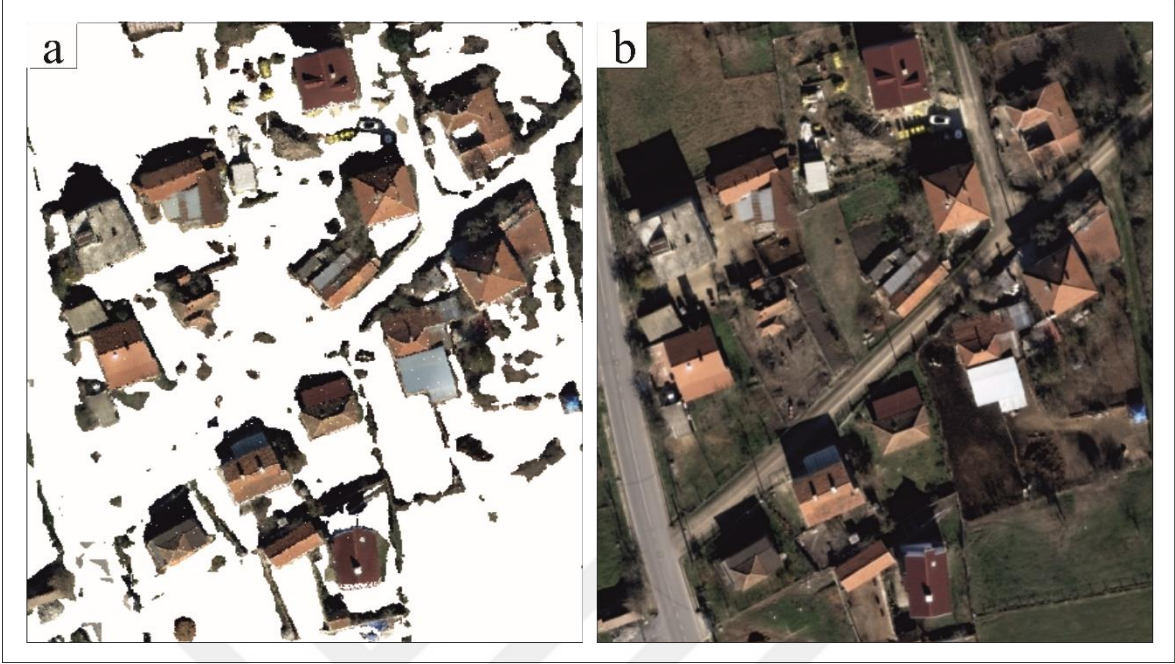
Şekil 25. Kentsel çalışma alanına ait bir bölgenin 1/1000 ölçekli a) ortofoto ve b) nokta bulutu görüntüleri

### 2.3. Zemin Detayının Nokta Bulutu Verisinden Çıkarımı

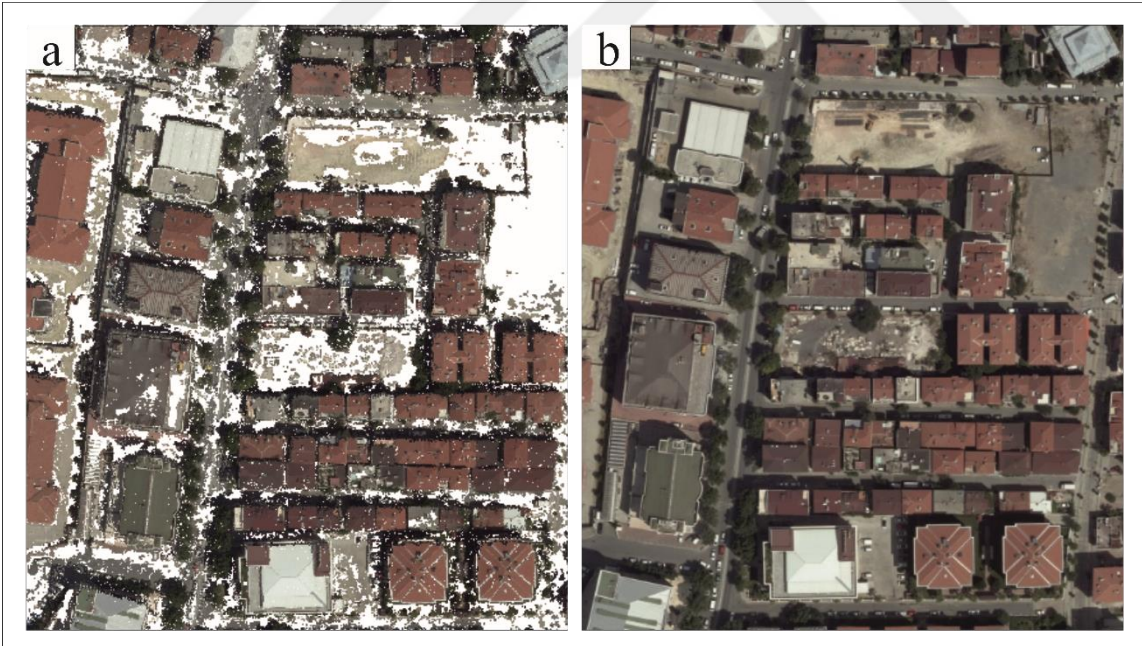
Nokta bulutu üretim işlemi tamamlandıktan sonra 3B bina modeli oluşturmak için zemin detayının çıkarılması gerekmektedir. Yer yüzeyini çıkarmanın en önemli amacı oluşturulacak 3 boyutlu bina modelinin oturacağı zeminin belirlenmesidir.

Bu işlemi yaparken birkaç parametreye dikkat edilmiştir. İlk olarak yer yüzeyi noktalarını sınıflandırırken bir alan belirlenmiştir. Bu alan ile bir çerçeve oluşturularak tüm nokta bulutunu gezilmiştir. Bu değeri ne kadar küçük belirlenmişse o kadar net sonuç elde edilmiştir. İkinci olarak minimum yer üstü noktasının yüksekliği girilmiş (0.3 m) ve herhangi bir yer üstü noktasının yer yüzeyi noktası olarak belirlenmemesi amaçlanmıştır. Son olarak da yer yüzeyi noktası olması muhtemel olmayan noktalar için minimum ve maksimum değerler girilmiştir (maksimum bina yüksekliği 100 m).

Kırsal/Kentsel ve Kentsel veri setlerinde çok fazla yükselti farklılığı olmadığı için parça parça çalışılmamış, tüm alan için aynı zemin çıkarımı işlemi uygulanmıştır. Parça parça çalıştırıldığında da kendi içinde aynı anda sırayla her parçaya aynı işlemi uygulandığı görülmüştür. Kırsal/Kentsel çalışma alanında Şekil 26'deki kıyaslamada da görüldüğü üzere büyük oranda zemin detayı çıkarılmıştır. Ancak, Şekil 27'deki kıyaslamada görüldüğü üzere Kentsel çalışma alanında çok fazla bina olduğundan kaynaklı zemin detayını algılayamamış ve çıkaramamıştır.



Şekil 26. Kırsal/Kentsel çalışma alanında zemin detayı çıkarılmış bir bölge ile ortofotonun kıyaslaması; a) zemin detayı çıkarılmış bölge b) ortofoto

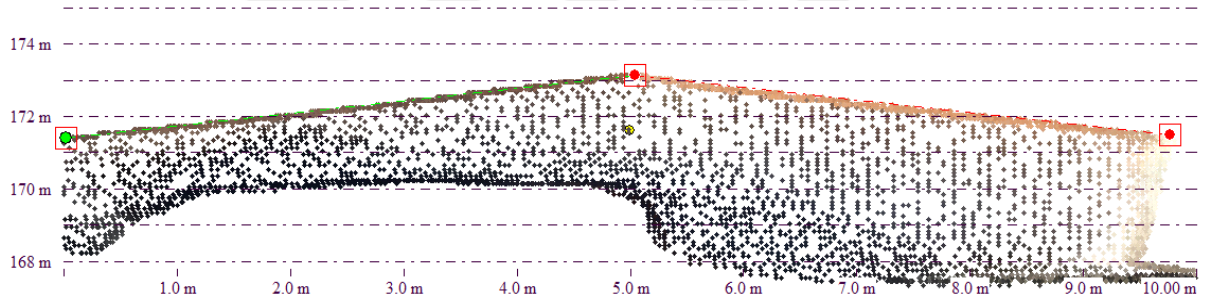


Şekil 27. Kentsel çalışma alanında zemin detayı çıkarılmış bir bölge ile ortofotonun kıyaslaması; a) zemin detayı çıkarılmış bölge b) ortofoto

## 2.4. Bina Düzlemlerinin Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi

Bu işlem ile herhangi bir sınıflandırma işlemi yapmadan profil çizilerek bina sınırları belirlenmiştir. Asıl olarak yol profillerinin oluşturulmasında kullanılan bu işlem bina detayının hassas bir şekilde belirlenmesine de olanak sağlamıştır.

İşleme profil hattı oluşturulacak binanın bir kenarına hat çekilerek başlanmıştır. Profil hattı oluşturulup bina detayı çıkarımı işlemine geçilmiştir. Profil hattı kapladığı alan boyunca tüm noktaları göstermektedir. Profil hattının çizildiği alan ile binanın yan kesiti görülerek sınır tespiti yapılmıştır. Hat boyunca çatı detayının incelenmiş ve binanın başlangıç ve bitiş noktalarını belirlenmiştir. Burada çizilen her detay için özellik belirlenmiş (Building-Roof) ve hat eklenmiştir. Çatısı düz binalar için bir hat eklenmiş fakat çok detaylı binalar için ikiden fazla hat eklenmiştir. Bu işlem her veri setinde 20 adet farklı bina tipinde uygulanmıştır.

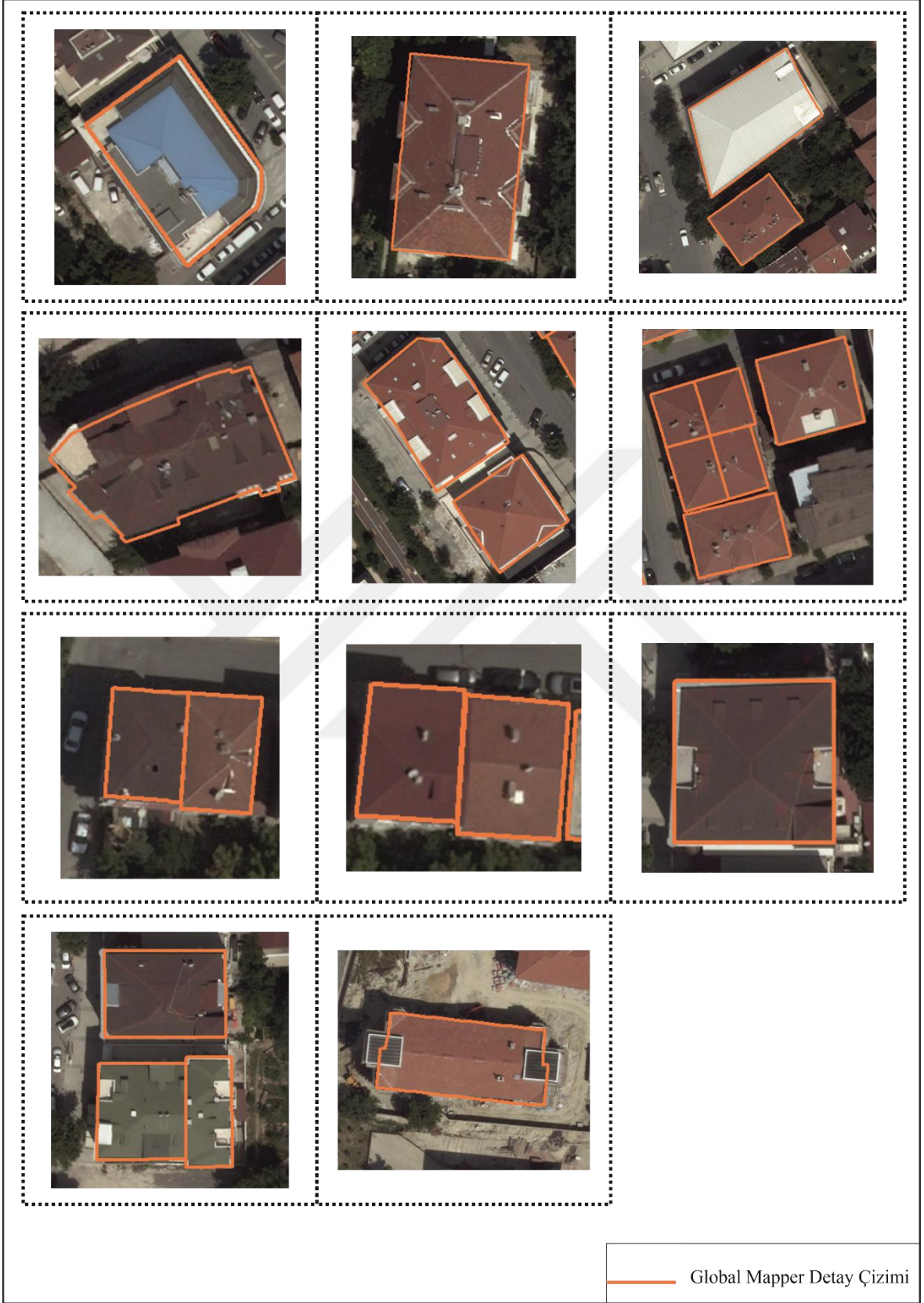


Şekil 28. Bina detayının profil yardımıyla çizilmesi (URL-7)

Şekil 28'deki kesit hem görüntü üzerinde hem de kesit üzerinde gezilmiştir. Görüntüde de görülerek gezilen kesitte kırık noktalar ve gürültüler tespit edilip hat çizim işlemine başlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, kesitte nokta bulutu değişim gösterdiği noktalarda hat için değişiklik yapılmalı ve nokta bulutuna göre güncellenmelidir. Bu şekilde düzenlemeler ve güncellemelerle hat belirlenmiştir. Devamında bina için başlangıç seçtiğimiz nokta profil başına gelinerek kaydedilmiştir. Aynı şekilde bina için bitiş seçtiğimiz nokta profil sonuna gelinerek kaydedilmiştir. Böylelikle çizilen hat sayısı kadar bina üzerinde alan oluşturulmuştur.



Şekil 29. Kırsal/Kentsel çalışma alanında farklı binaların detay çıkarımı

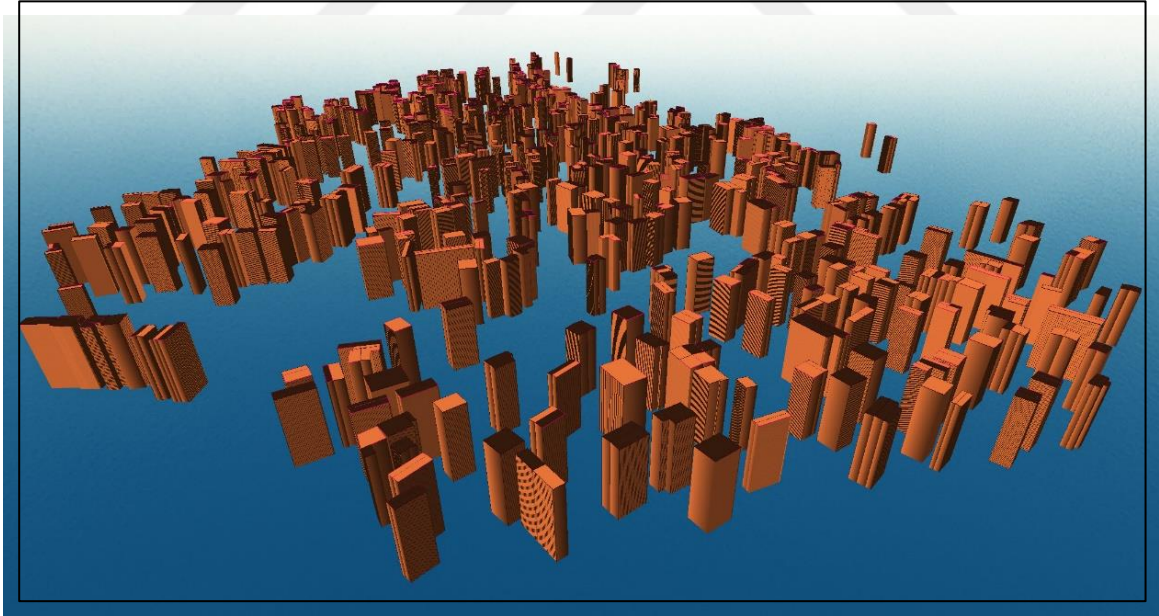


Şekil 30. Kentsel çalışma alanında farklı binaların detay çıkarımı

Şekil 29 ve 30’da görüldüğü gibi çizimler her bir binaya ve her bir çatı bölümüne göre çizilmiştir. Üçgen çatı formatına sahip binalar bir profilde, dörtgen çatı formatına sahip binalar iki profilde çizilmiştir. Kırıkları olan binalar ise kırık sayısına göre profil oluşturularak çizilmiştir.

### 2.5. 3B Bina Modellerinin Yarı Otomatik Olarak Oluşturulması

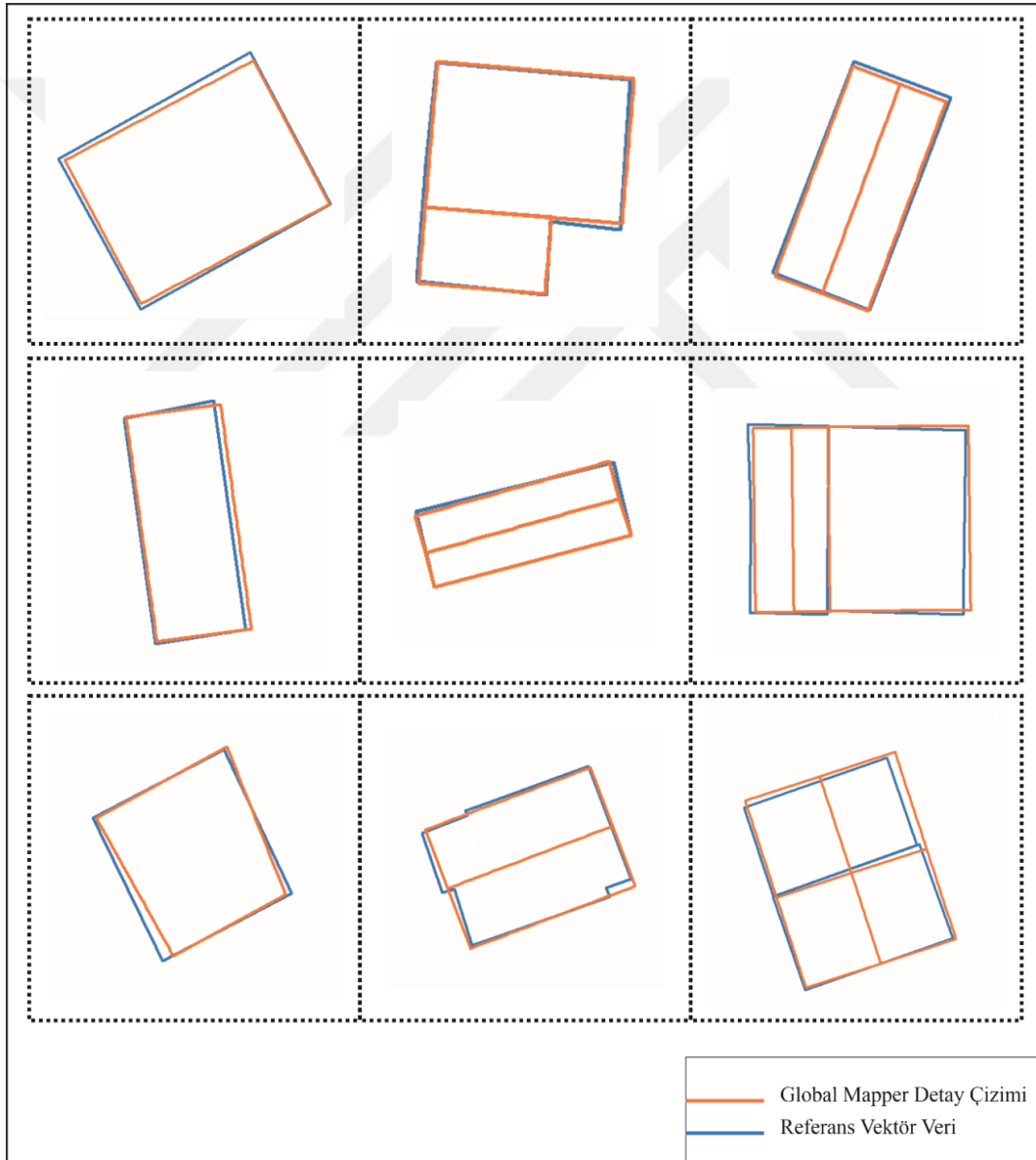
Profil çizilerek oluşturulan kesit üzerinde bina hattı belirlendikten sonra profil başlangıcı (binanın başladığı nokta) ve bitişini (binanın bittiği nokta) işaretlenmiştir. Böylece model oluşturulacak sınırlar ve alanlar belirlenmiştir. 3B bina modellemesi oluşturmak için ilk olarak zemin detayı nokta bulutundan çıkarılmıştır. Devamında profil yardımıyla kesitler oluşturularak bina çatı detayları çıkarılmıştır. Böylelikle model oluşturulacak alanı sınırlayacak iki detay da çıkarılmıştır. Program içinde uygulanan algoritma ile Şekil 31’de görüldüğü gibi çatı detayından zemine kadar 3B sınırlar indirilerek 3B bina modeli oluşturulmuştur.



Şekil 31. Kırsal/Kentsel çalışma alanı 3B bina modeli

## 2.6. Bina Sınırlarının Referans Vektör Veri ile Çakıştırılması

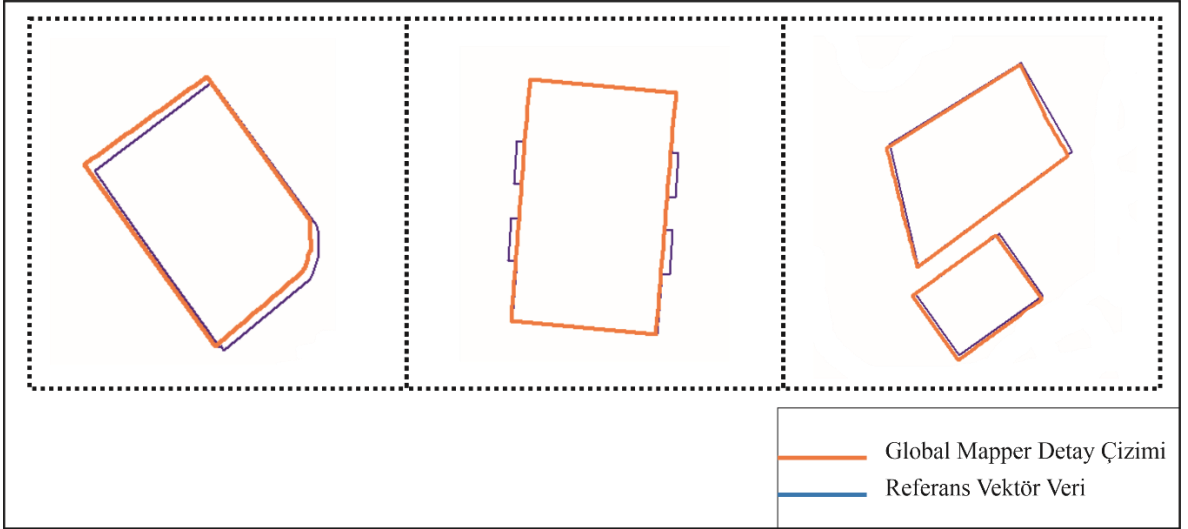
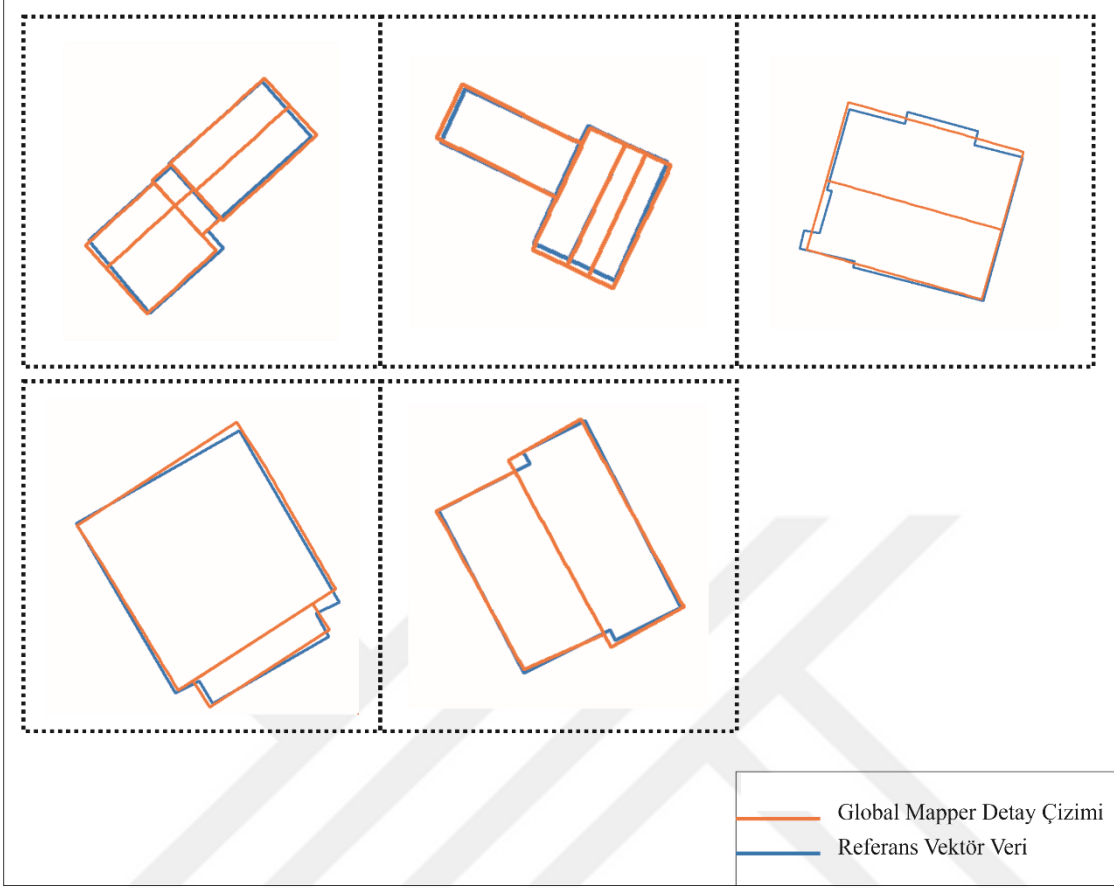
Kırsal/Kentsel ve Kentsel çalışma alanı veri setlerinde detayları çıkarılan binalar tamlik, doğruluk ve kalite değerlerinin belirlenmesi için ilk olarak vektör veri ile çakıştırılmıştır. Şekil 32 ve 33'den görüleceği üzere; Global Mapper programında üretilen verinin üzerine \*.shp formatında Matlab yazılımında çizilen veri ve \*.dgn formatında Microstation programı ile stereo çizimi yapılan veri işlenmiş ve çakıştırılmıştır. Ancak Matlab programında çizilen veri istenilen sonucu karşılayamadığından bu işlem den çıkarılmıştır.



Şekil 32. Kırsal/Kentsel çalışma alanı bina detaylarının referans vektör veri ile çakıştırılması

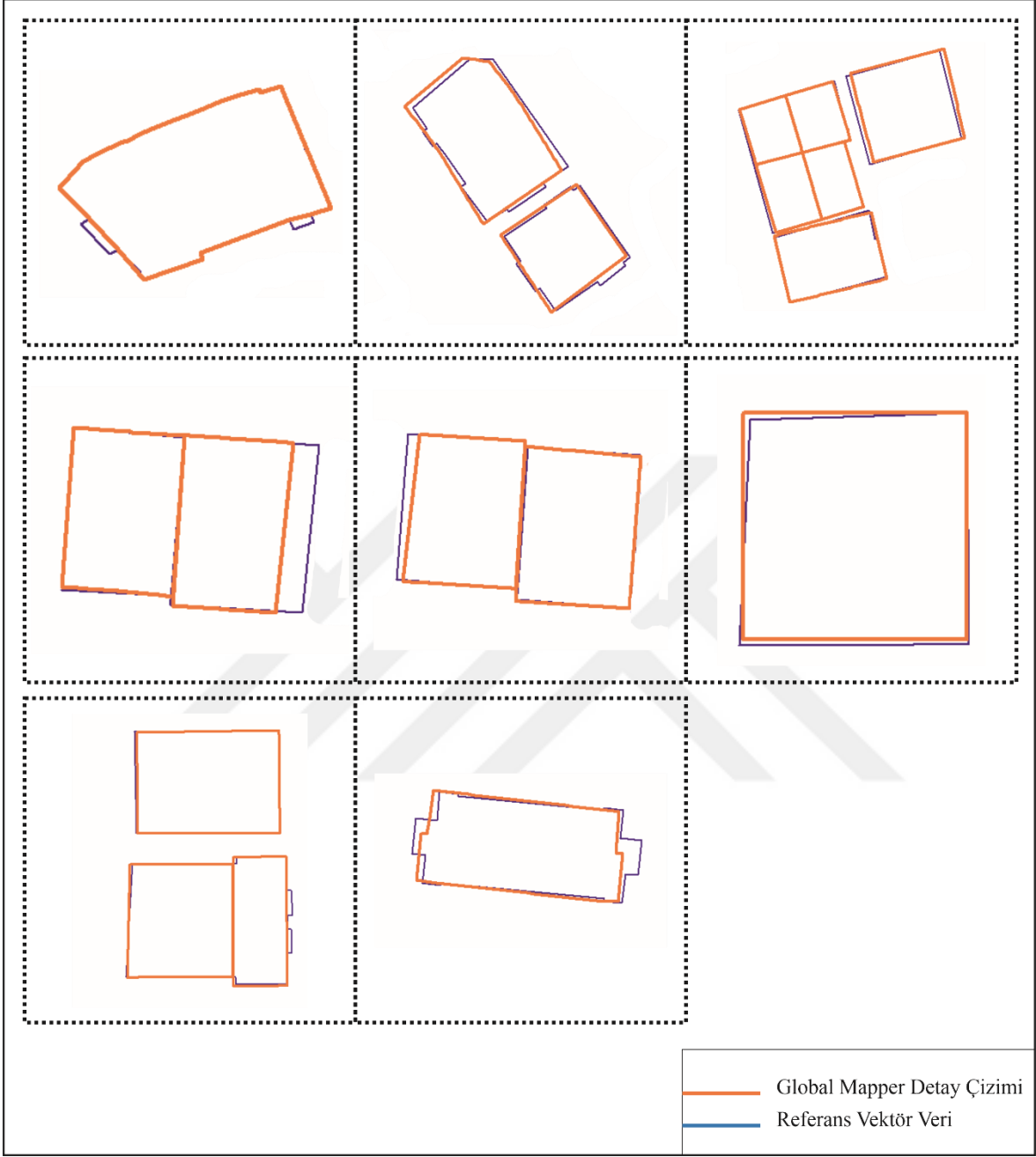


Şekil 32'nin devamı



Şekil 33. Kentsel çalışma alanı bina detaylarının referans vektör veri ile karşılaştırılması

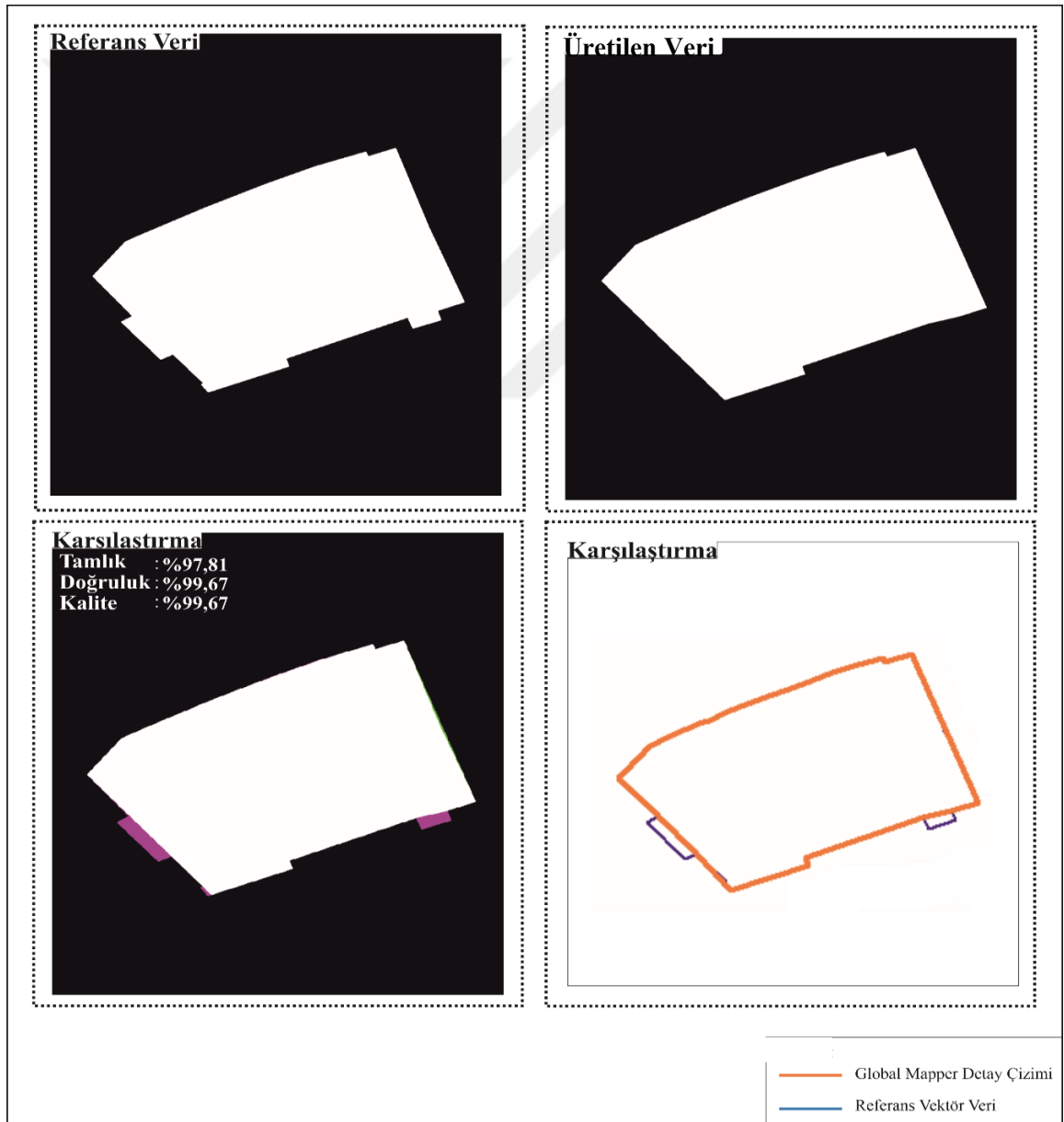
Şekil 33'ün devamı



Kırsal/Kentsel ve Kentsel alanda farklı bina tipleri seçilerek kıyaslama işlemi yapılmıştır. Şekillerde görüldüğü üzere kırık sayısı arttıkça profil sayısı da artmıştır. İlave profil çizilmeyen kırıklı binalarda ise kırıklar çizime dahil edilememiştir.

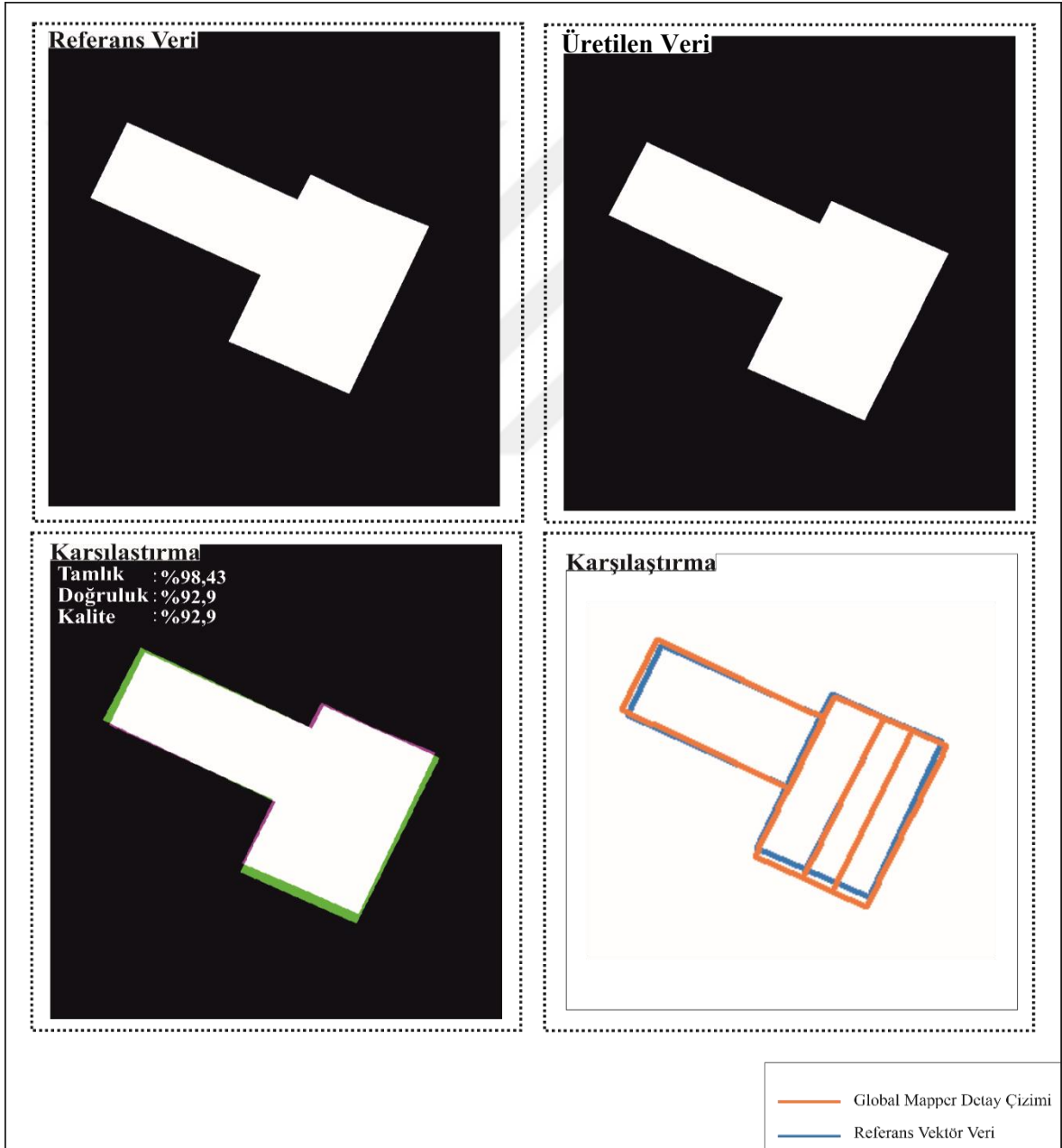
### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Kırsal/Kentsel Çalışma Alanı ve Kentsel Çalışma Alanı olmak üzere iki grupta çalışılan veri setleriyle elde edilen bina detayları; tamlık, doğruluk ve kalite analizleri kullanılarak referans veri ile kıyaslanmıştır. Stereo olarak Microstation programında çizilen \*.dgn formatındaki vektör referans veri ile Global Mapper programında çizilen veri ilk olarak Global Mapper programında karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslamamanın yapılabilmesi için de her iki veri de sırayla açılarak \*.jpg formatına dönüştürülmüştür.

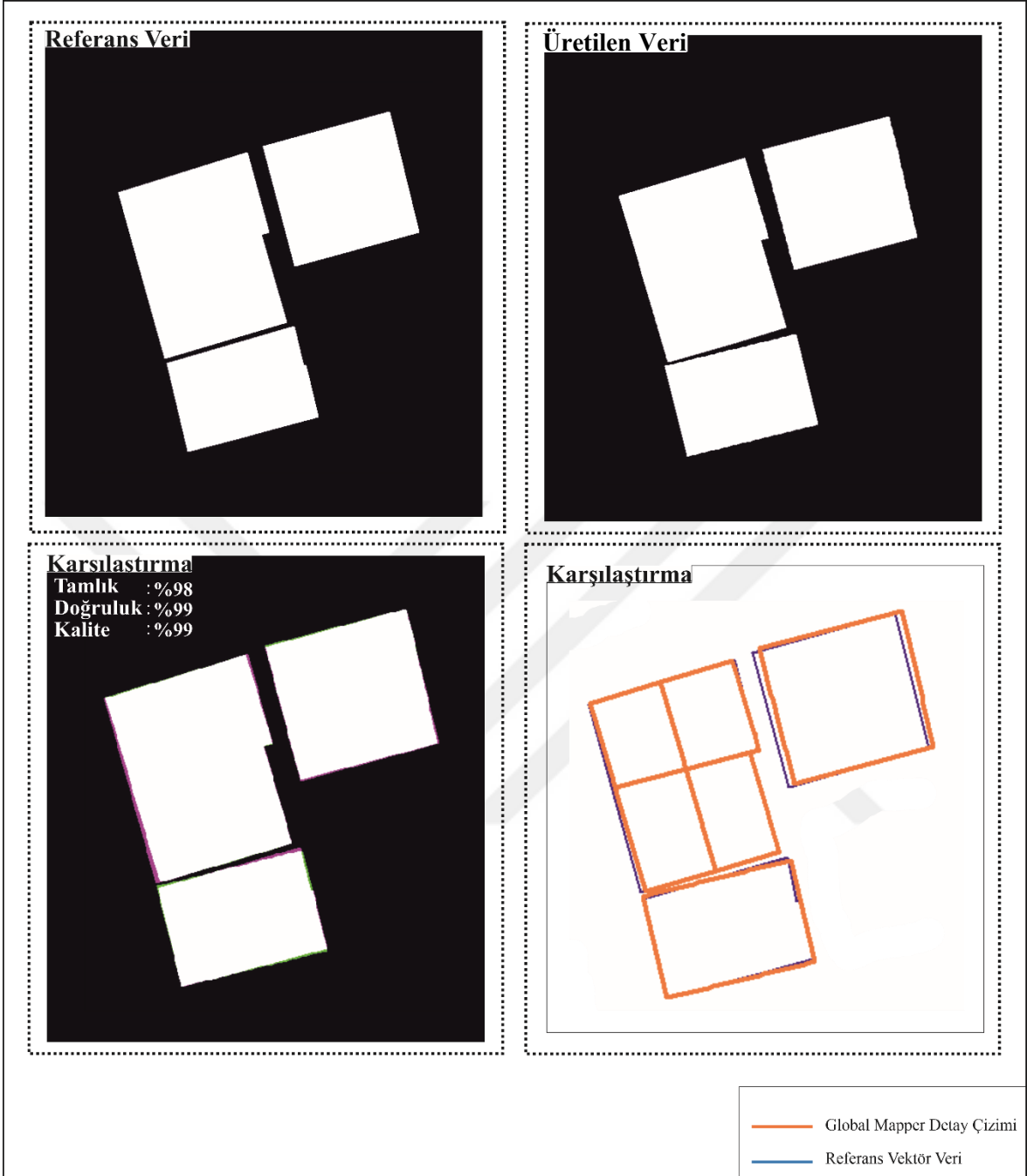


Şekil 34. Örnek 1: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri

Doğruluk analizlerine ilişkin eşitlikler Matlab ortamında hazırlanmış ve Şekil 34, Şekil 35 ve Şekil 36 deki örnek görüntülerde olduğu gibi iki veriye de uygulanmıştır. Bu yazılım; aynı piksel boyutuna sahip görüntülerle çalışmaktadır. Bundan dolayı da bire bir örtüşecek şekilde görüntüler alınmış ve okutulmuştur. Sonuçlar; Kırsal/Kentsel çalışma alanı için tamlık, doğruluk ve kalite değerleri sırasıyla %97.18, %96.50 ve %96.50, Kentsel çalışma alanı için tamlık, doğruluk ve kalite değerleri sırasıyla %97.2, %97.44 ve %97.44 olarak hesaplanmıştır.

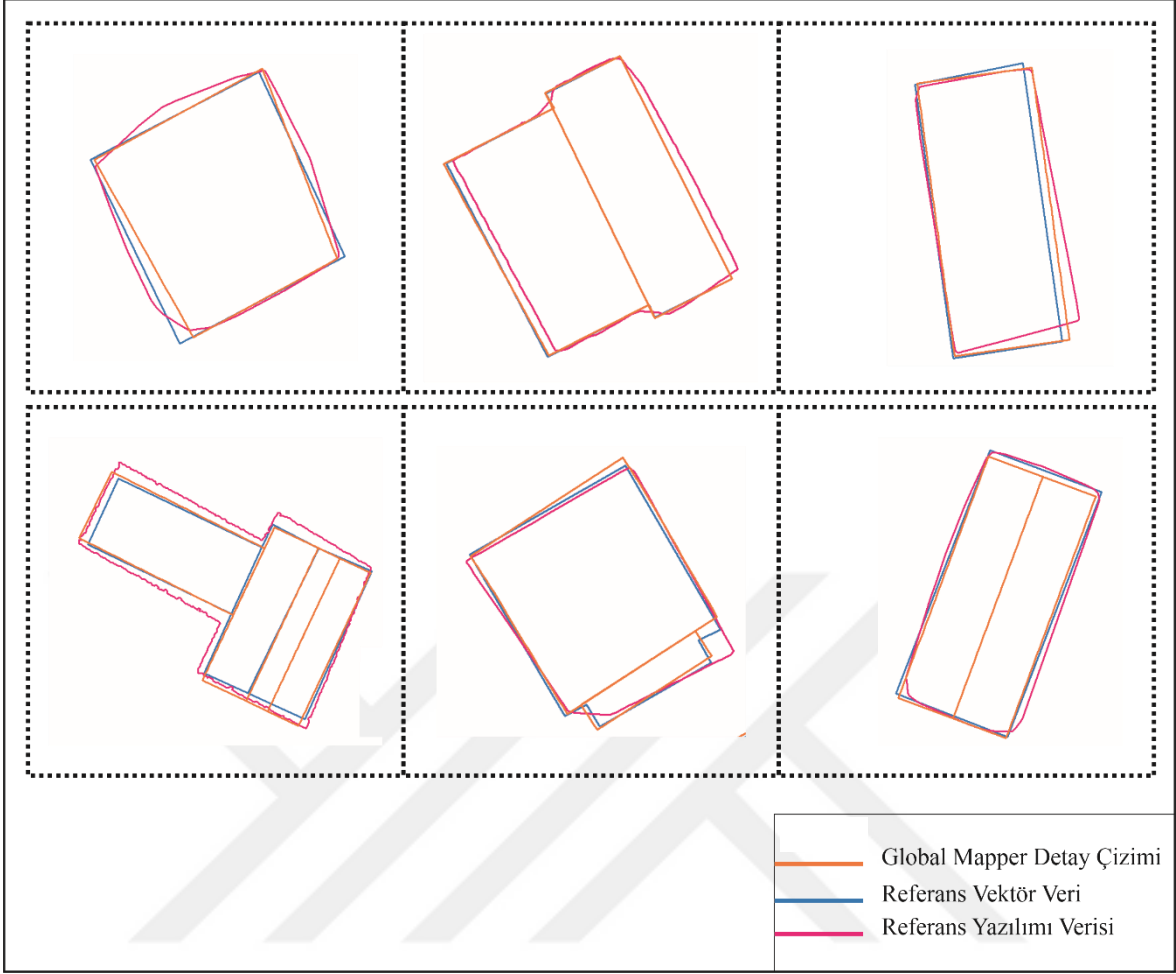


Şekil 35. Örnek 2: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri



Şekil 36. Örnek 3: Doğruluk analizleri sonucunda elde edilen görüntü ve değerleri

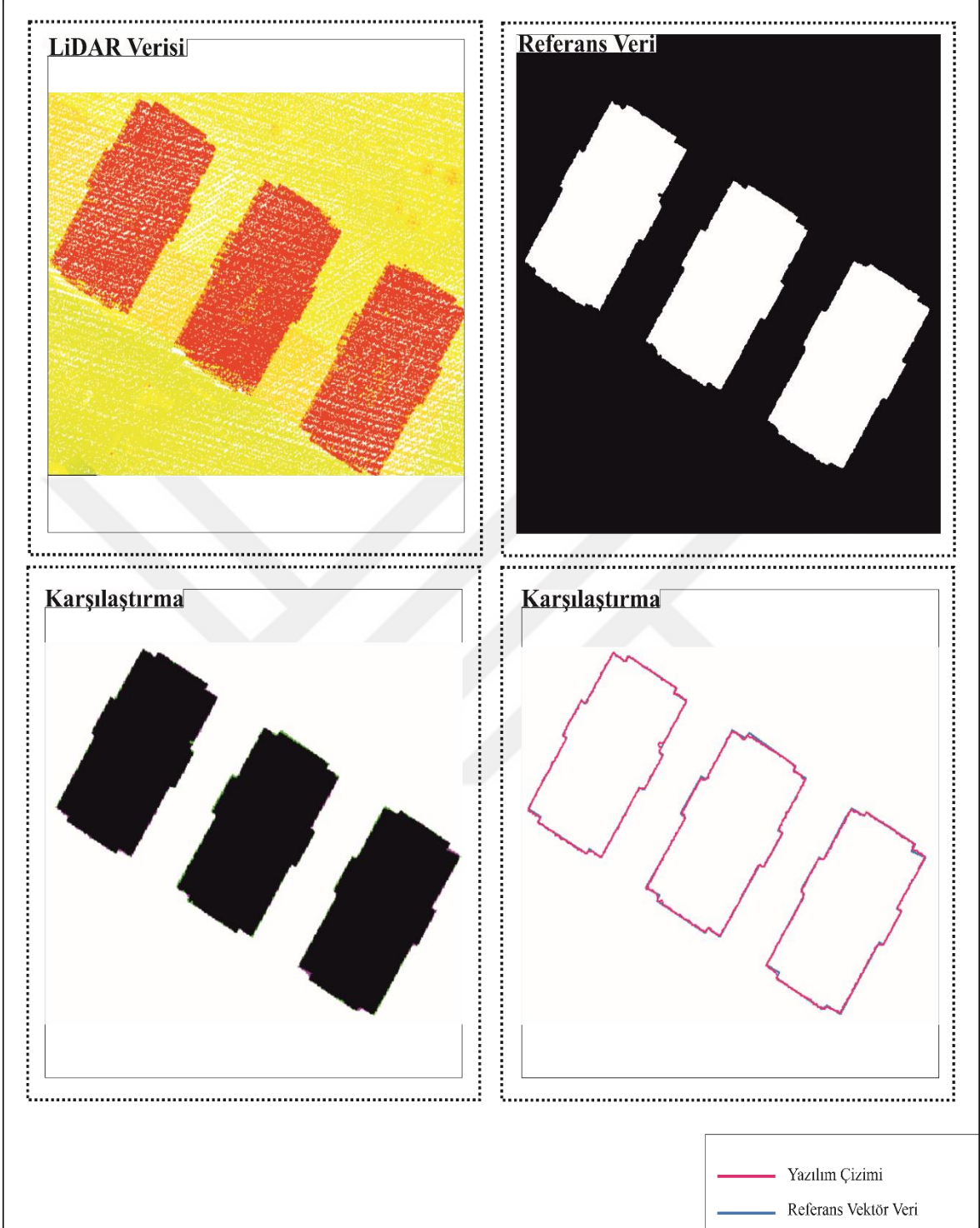
Doğruluk analizi; Matlab yazılım ile hazırlanan referans veri ile de yapılmıştır. Şekil 37’de görüldüğü gibi, program ile üretilen bina çizimlerine kıyasla daha düşük doğruluğa sahiptir.



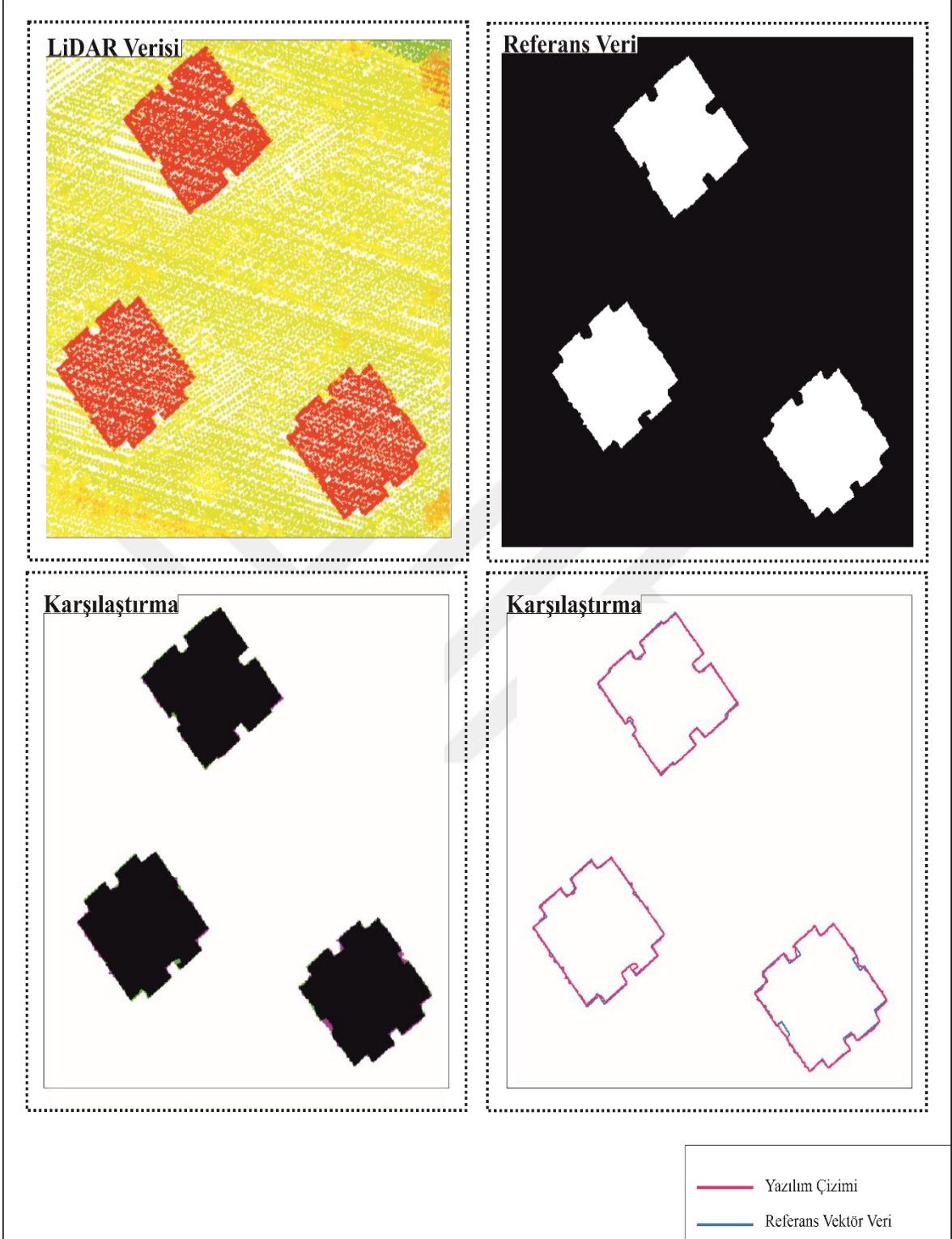
Şekil 37. Tüm bina çizimlerinin kıyaslanması

Matlab yazılımında oluşturulan yazılımda en önemli bina bölümü çatıdır. Çizim yaptığı veride nokta bulutudur. Çalışma prensibi de otomatiktir. Dolayısıyla yazılım, nokta bulutu kalitesine göre çizim kalitesine sahip olacaktır. Bundan dolayı nokta bulutu üretim yöntemi ve nokta sıklığı en önemli unsurlardır.

Bunun yanı sıra LiDAR verisi incelendiğinde görülür ki bina kenarları yoğun nokta bulutu içermektedir. Bundan dolayı, Şekil 38, Şekil 39 ve Şekil 40' dan görüleceği üzere, LiDAR verisinde yüksek doğruluklarla çalışan yazılım; hava fotoğraflarından elde edilen veriyle yüksek doğrulukta çalışmamaktadır. Örnek LiDAR verisi üzerinde çalışma yapıldığında elde edilen tamlık, doğruluk ve kalite değerleri %99.83, %99.94 ve %99.94 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar yazılımın LiDAR verisinde daha doğru çalıştığını göstermektedir.

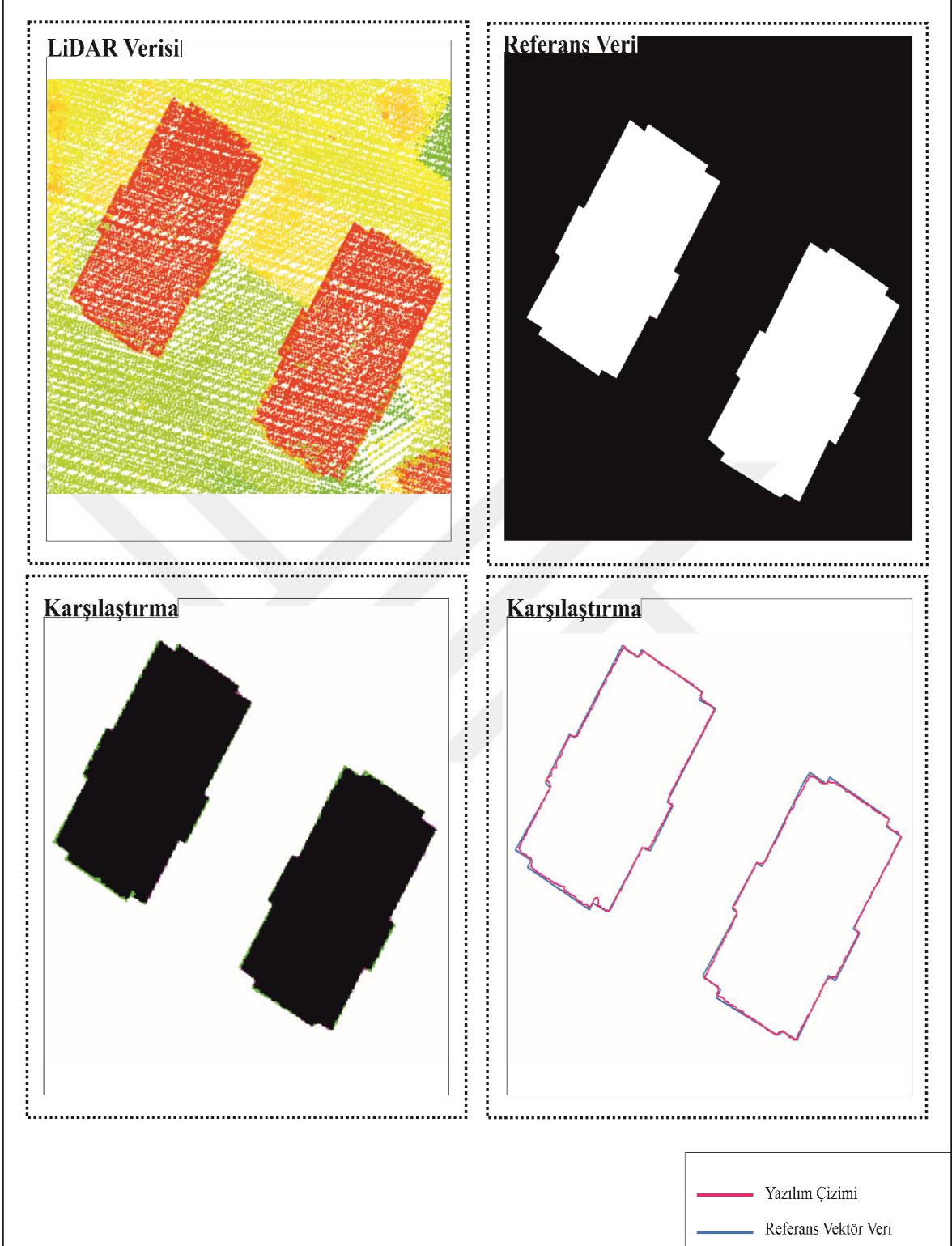


Şekil 38. Örnek 1: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması



Şekil 39. Örnek 2: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması





Şekil 40. Örnek 3: LiDAR verisi kullanılarak elde edilen çizimler ve referans vektör veri ile kıyaslanması

Bu tez çalışmasında çözülmesi amaçlanan; hâlihazır harita üretim aşamasında bina detayı çıkarımında karşılaşılan sorunlar çözülmüştür. Yüksek bitki örtüsü nedeniyle kapanan ve 3B stereo çizimde tahmini çizilen bina detayı, enine kesit uygulaması ile net bir şekilde görülerek çizim işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 41’de görüldüğü gibi yüksek bitki örtüsü gibi bina üzerine uzanan çatı saçağı nedeniyle kapanan ve 3B stereo çizimde yarım çizilen bina detayı yine net bir şekilde enine kesitte görülmüştür. Enine kesitin profil çizilerek oluşturulması birden fazla binanın seçimine imkan sağlamış ve birden fazla bina eş zamanlı çizilmiştir. Bina detayının yanı sıra çatı detayının da çizimine imkân sağlayan yöntem ile 3B bina modellemesinin oluşturulmasında kolaylık sağlamıştır.

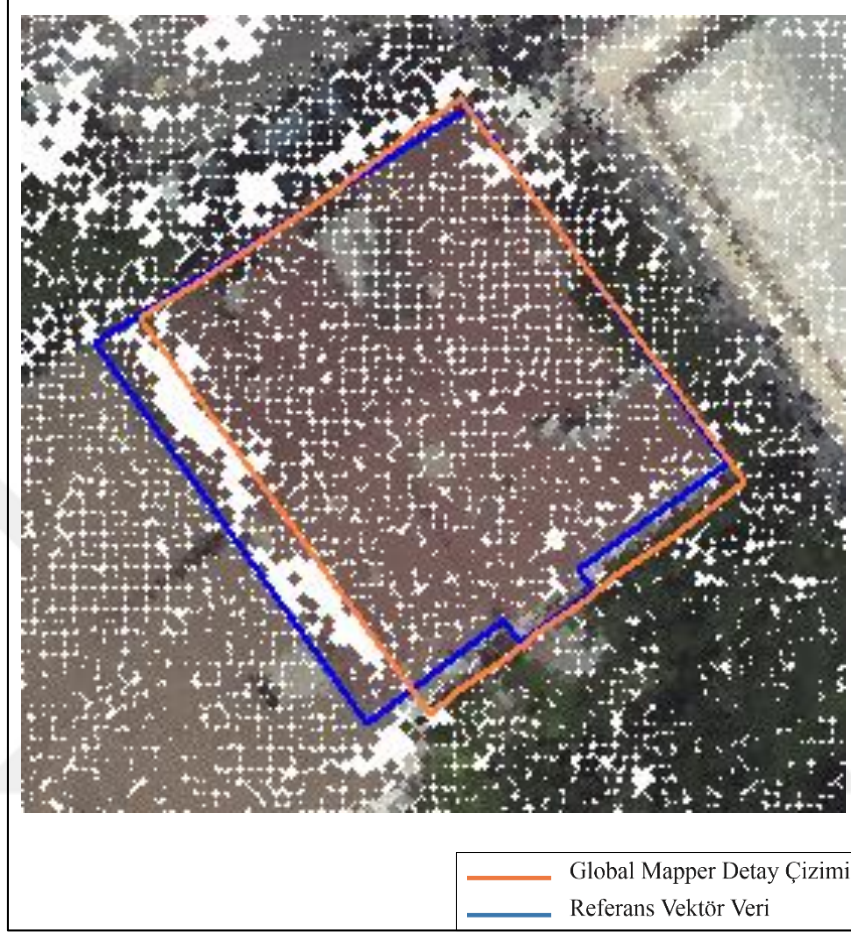


Şekil 41. Yüksek bitki örtüsü nedeniyle kapanan bina örneği

Şekil 42’te görüldüğü gibi enine kesitte bina üzerine sarkan bitki örtüsü bina üzerinde görülmekte fakat bina detayını kesmemektedir. Üstten bakıldığında görülmeyen detay kesitten bakıldığında net bir şekilde görülmektedir ve çizimi etkilememektedir.



binalarda tespit zorlaştığından ortofoto kullanılmak zorunda kalınmıştır. Nokta bulutu verisinde gürültünün çok olduğu yerlerde yanlış detay çıkarımına neden olmuştur.



Şekil 44. Nokta sayısının az olduğu bina detayı

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürdeki bina detayı çıkarımı çalışmaları genellikle LiDAR verisi ile yapılmıştır. Fakat tez kapsamında kullanılan veri, hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Çünkü ülkemizde LiDAR verisi nadiren kullanılmakta ve yapılan neredeyse tüm fotogrametrik işlemler hava fotoğrafı alımı ile yapılmaktadır. Kullanılan hava fotoğrafları, ülkemizdeki en yeni ve GSD değeri en iyi kamera ile alındığından çalışma kalitesi açısından da değerlendirilmiştir.

Çalışmanın yapılmasındaki amaç; fotogrametrik hâlihazır üretimlerinde karşılaşılan sorunların karşılanmasına yönelik olmuştur. Hâlihazır üretim işlemleri her ne kadar 3 boyutlu ve fotoğraf üzerinden hızlı bir şekilde yapılmış olsa da otomatik hale getirilememiş ve 3. boyutu tam anlamıyla karşılayamamıştır. Fotoğraf üzerindeki yansılardan kaynaklı detayın doğru tespit edilememesine ve yanlış çizilmesine neden olmuştur. Binalar üzerine gelen yüksek bitki örtüsü nedeniyle bina detayları tahmini olarak çizilmiştir. Bina rengi ile zemin renginin aynı olduğu yerlerde bina detayının tespit edilip çizilmesi zor hale gelmiştir. Fotoğraf üzerinde tıpkı yüksek bitki örtüsü gibi bina tarafından kapanan bina detayları tahmini olarak çizilmiştir.

Karşılaşılan bu sorunlar dikkate alınarak sayısallaştırma işlemi 2 boyutlu detay çıkarımı ve 3 boyutlu model oluşturma noktasında kısmen otomatize edilmiştir. İki farklı yazılımdan elde edilen ve farklı nokta yoğunluklarına sahip veriler kullanılarak programında çalışma şartları test edilmiştir. Nokta sayısı fazla olan nokta bulutu verisinde herhangi bir destek altlığı gereksinim duymadan çalışan program, nokta sayısı düşük olan veride ortofoto altlığı ile aynı kalitede çizim yapabilmektedir. Nokta yoğunluğu fazla olan Kırsal/Kentsel çalışma alanında tamlık %97.18, doğruluk %96.50 ve kalite %96.50 elde edilirken, nokta yoğunluğu az olan Kentsel çalışma alanı verisinde tamlık %97.2, doğruluk %97.44 ve kalite %97.44 elde edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında elde edilen ortofoto ve nokta bulutu verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle, hava fotoğrafı alımı esnasında oluşan rölyef hatasının çizim yapılırken irdelenmesini ve daha doğru çizimler yapılmasını sağlamıştır. Ayrıca çizim yapılırken kullanılan profil yan yana birçok binanın aynı anda çizilmesini ve 3B çizim esnasında karşılaşılan sorunların giderilmesini de sağlamıştır.

Kullanılan çalışma verisinin LiDAR verisi olması durumunda, detayların daha iyi çıkarılmasını sağlayacağından daha yüksek doğruluk sonuçları elde edilecektir. İşlem, bina detaylarının çıkarımını sağladığı gibi çatı detaylarının da çıkarılmasını sağlamaktadır. Uygulamasının dezavantajları ise; çizim için oluşturulan kesit iki boyutlu ve dörtgen mantığı ile çalıştığı kırıklar tamamen çıkarılmamakta ve üçgen detaylar çizilememektedir.

Gelecekteki yapılacak çalışmalarda; profil mantığına göre çıkarılacak çizimlerde daha iyi sonuç elde edebilmek için yazılım ortamında kesitin üç boyutlu çıkarılması ve çizimlerin de üç boyutlu yapılması sağlatılabilir. Ayrıca nokta bulutu üretim aşamasında detay kenarlarının algılatılıp daha yoğun nokta üretilmesi sağlatılabilir. Bu çalışmalarla daha iyi sonuç elde edebilmek için, programlara endeksli yazılımlarla ilave modüller üreterek program geliştirmek için yapılacak ve ara yüzlere dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Acar, H., 2018. Bina Çatı Noktalarının Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu Verileri İle Otomatik Tespit Edilmesi ve Gerçek Ortofoto Üretimi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bilen, B., 2004. Model Based Building Extraction from High Resolution Aerial Images, Middle East Technical University, Institute of Graduate School of Science and Engineering, Ankara.
- Çetinkaya, B., 2002. Automatic Detection of Earthquake Damaged Buildings From Stereo Aerial Photographs, Master of Science, Middle East Technical University, Institute of Graduate School of Science and Engineering, Ankara.
- Fidan, M. H., 2010. Kızılkötesi Hava Fotoğraflarından Bina Detaylarının Belirlenmesi, Master of Science, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güler, M. A., 2004. Detection of Earthquake Damaged Buildings from Post-Event Photographs Using Perceptual Grouping, Middle East Technical University, Institute of Graduate School of Science and Engineering, Ankara.
- Güler, M., 2018. LiDAR Verisinden Bina Çatı Düzlemlerinin Otomatik Çıkarımı ve Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Berlin.
- Haala, N., 2011. Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching, Photogrammetric Week' 11, September, Stuttgart.
- Hirschmüller, H., 2012. Memory Efficient Semi-Global Matching, XXII. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1-3, September, Melbourne.
- Hirschmüller, H., 2011. Semi-Global Matching-Motivation, Developments and Applications, Photogrammetric Week' 11, September, Stuttgart.
- Karslı, F., 2007. Lazer Tarama Verilerinden Bina Detaylarının Çıkarılması ve CBS İle Entegrasyonu, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ekim, Trabzon.
- Kraus, K., 2004, Photogrammetry, 2, Berlin.
- Kaufmann, J. ve Steudler, D., 1998. Cadastre 2014 A Vision for A Future Cadastral Systemi with the Working Group.
- Kılınçoğlu, D.B., 2016. Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kocaman, E., 1988. Yersel Fotogrametride Normal Durumda Yer Kontrol Noktalarının Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Konecny, G., 2003. Geoinformation; Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems, 1.
- Ok, V., Toprak. V., Wegner J. D., Heipke. C., Rottensteiner. F., Sörgel. U., 2010. Çok Bantlı Stereo Hava Fotoğraflarından Doğrusal Çizgilerin Otomatik Geri-Çatımı İçin Yeni Bir Yaklaşım, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Ekim, Kocaeli.
- Özbalmumcu, M., 2007. Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Esaslar, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Teknik Sempozyumu, Haziran, İstanbul.
- Safarlou, F., 2015. Change Detection Of Buildings From High Resolution Satellite Imagery and Existing Map Data Using Object Based Classification, Master of Science, Hacettepe University, Institute of Graduate School of Science and Engineering, Ankara.
- Shabani Zonouzagh, R., 2016. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanılarak Kentsel Alanlarda Bina Değişimi Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sidar, Y., 2004. Deprem Öncesi ve Deprem Sonrası Hava Fotoğrafları Kullanılarak Yıkılmış Binaların Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sun, S. ve Salvaggio, C., 2013. Aerial 3D Building Detection and Modeling From Airborne LiDAR Point Clouds, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.
- Sümer, E., 2004. Earthquake Damage Detection Using Watershed Segmentation And Intensity-Gradient Orientation Approaches, Master of Science, Middle East Technical University, Institute of Graduate School of Science and Engineering, Ankara.
- Torun, A. ve Düzgün, Ş., 2013. LiDAR Nokta Bulutundan Veri Yönelimli Teknikle Bina Çatılarının Yatay Yüzeylerinin Çıkarılması, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Mayıs, Trabzon.
- Ulvi, A., 2015. Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında (Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Uysal, M., 1999. Dijital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme Metotlarıyla Yarı Otomatik Havai Nirengi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.



Zhou, Z. ve Gong, J., 2019. Automated Residential Building Detection from Airborne LiDAR Data With Deep Neural Networks, *Advanced Engineering Informatics*, 36, 229-241.

Wang, L., Xu, Y., Li, Y., 2018. A Voxel-Based 3D Building Detection Algorithm for Airborne LiDAR Point Clouds, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 9.

Zhao, Z., Wang, H., Wang, C., Wang, S., Li, Y., Fusing LiDAR Data and Aerial Imagery for Building Detection Using a Vegetation-Mask- Based Connected Filter, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, February.

URL-1, <[www.kentharita.com/fotogrametri-nedir-nerelerde-kullanilir/](http://www.kentharita.com/fotogrametri-nedir-nerelerde-kullanilir/)>

URL-2, <[www.tufuab.org.tr/images/dergi/makaleler/f334fd0f4700b83.pdf](http://www.tufuab.org.tr/images/dergi/makaleler/f334fd0f4700b83.pdf)>

URL-3, <[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Kapalı%20Devre%20Kamera%20Sistemi%20Prensipleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kapalı%20Devre%20Kamera%20Sistemi%20Prensipleri.pdf)>

URL-4, <[abl.gtu.edu.tr/hebe/AbIDrive/74611106/w/Storage/106\\_2010\\_2\\_521\\_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf](http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AbIDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf)>

URL-5, <[docplayer.biz.tr/6559517-Biyologlar-icin-fotograf-teknigi-fotograf-makinesinin-Kameranın-calisma-prensibi.html](http://docplayer.biz.tr/6559517-Biyologlar-icin-fotograf-teknigi-fotograf-makinesinin-Kameranın-calisma-prensibi.html)>

URL-6, <[www.blumarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Lidar\\_Module/nonground\\_classification.htm](http://www.blumarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Lidar_Module/nonground_classification.htm)>

URL-7, <[www.blumarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper19/Path\\_Profile\\_LOS\\_Tool.htm#Intermediate\\_Points](http://www.blumarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper19/Path_Profile_LOS_Tool.htm#Intermediate_Points)>

URL-8, <[uzalcbs.org/wp-content/uploads/2016/11/2014\\_054.pdf](http://uzalcbs.org/wp-content/uploads/2016/11/2014_054.pdf)>

URL-9, <[www.dmcii.com/wp-content/uploads/2013/07/DMCii\\_22mSpec.pdf](http://www.dmcii.com/wp-content/uploads/2013/07/DMCii_22mSpec.pdf)>

## ÖZGEÇMİŞ

Pınar Yeşim LİMANDAL, Vakfikebir/TRABZON'da 1991 yılında doğdu. İlk ve orta öğretimini aynı ilçe Kemaliye İlköğretim Okulunda 2006 yılında tamamladıktan sonra, Lise eğitimini de yine aynı ilçede bulunan Vakfikebir Anadolu Lisesinde 2009 yılında tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra aynı yıl Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Fotogrametri bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Üniversite öğretimini hem bölümün etkinliklerinde aktif yer aldı hem de sosyal etkinlik olarak halk oyunları ekibinde yer alarak üniversite adına birçok yarışmalara katıldı. 2014-2016 yılları arasında Trabzon'da Lisanslı Harita ve Kadastro Bürosunda, 2016-2018 yılları arasında Ankara'da özel iki büroda ihale ve fotogrametri birimlerinde çalıştı. 2018 yılında Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yönetim Kurulunda başladığı göreve devam etmektedir.