



**GÖKTÜRK-1 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN 1/5000 ve 1/25000  
ÖLÇEKLİ FOTOGRAMETRİK HARİTA ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Çağrı KILINÇ

Danışman

Prof. Dr. Murat UYSAL

Harita Mühendisliği

Kasım 2024

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**GÖKTÜRK-1 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN 1/5000 ve  
1/25000 ÖLÇEKLİ FOTOGRAMETRİK HARİTA ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Çağrı KILINÇ**

**Danışman**

**Prof. Dr. Murat UYSAL**

**Harita Mühendisliği**

**Kasım 2024**

## TEZ ONAY SAYFASI

Adı SOYADI tarafından hazırlanan “Tez Onay Sayfası” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 28/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Murat UYSAL

**Başkan** : Prof. Dr. Semih EKERCİN  
Antalya Bilim Üniversitesi .....

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

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

**Üye** : Doç. Dr. Nizar POLAT  
Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi .....

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

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

.....  
Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

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

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

**beyan ederim.**

**28/11/2024**

**Çağrı KILINÇ**

## ÖZET

Doktora Tezi

### GÖKTÜRK-1 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN 1/5000 ve 1/25000 ÖLÇEKLİ FOTOGRAMETRİK HARİTA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Çağrı KILINÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Murat UYSAL

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak harita üretimi günümüzde de güncel araştırma konuları arasındadır. Ancak uydu görüntülerinden harita üretiminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli kriterler konum doğruluğunun yanında maliyet ve zaman etkenleridir.

Bu çalışmada ise Türkiye'nin sahip olduğu metre altı çözünürlüklü yer gözlem uydusu olan Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri kullanılarak 1/5000 ve 1/25000 ölçekli stereo fotogrametrik kıymetlendirme haritası yapılarak hem yatay ve düşey doğruluk bakımından incelenmiş hem de belirtilen ölçekli haritalarda bulunması gereken detayların tespit teşhis ve tanınma durumu analiz edilmiştir. Ayrıca fotogrametrik haritada çizilen parsellerin gayrimeskûn alanda kadastro çalışmaları için altlık olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Son olarak çalışma alanında görüntü iyileştirme uygulamaları yapılarak elde edilen sonuçların fotogrametrik kıymetlendirmeye etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Göktürk-1 stereo uydu görüntülerinin hem yatay ve düşey doğruluk bakımından hem de içerdiği detaylar bakımından 1/5000 ve 1/25000 ölçekli fotogrametrik harita üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca görüntü iyileştirme uygulamalarının görüntü kıymetlendirme aşamasında operatörün detay tespit ve teşhis edebilme yeteneğine olumlu etkisi olduğu ve bunun sonucunda da arazi bütünlemesi süresini etkileyebileceği değerlendirilmektedir.

**2024, x + 84 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Uydu, Göktürk-1, Stereo, Kadastro, Yapay zekâ, Derin öğrenme,  
Süper Çözünürlük.



## **ABSTRACT**

Ph.D. Thesis

Investigation of the Usability of GOKTURK-1 Stereo Satellite Images in 1/5000 and  
1/25000 Scale Photogrammetric Map Production

Çağrı KILINÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatik Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Murat UYSAL

Map production using high-resolution satellite images is still among the current research topics. However the most important criteria to be considered in map production from satellite images are cost and time factors as well as location accuracy.

In this study, 1/5000 and 1/25000 scale stereo photogrammetric valuation maps were prepared using Göktürk-1 stereo satellite images, which is the sub-meter resolution earth observation satellite that Turkey has, and both horizontal and vertical accuracy were examined, and the detection, diagnosis and recognition status of the details that should be included in the specified scale maps were analyzed. In addition, the usability of the parcels drawn on the photogrammetric map as a base for cadastral studies in the uninhabited area was examined. Finally, image enhancement applications were carried out in the study area and the effect of the obtained results on photogrammetric valuation was examined. According to the obtained results, it was seen that Göktürk-1 stereo satellite images can be used in the production of 1/5000 and 1/25000 scale photogrammetric maps both in terms of horizontal and vertical accuracy and the details they contain. In addition, it is evaluated that image enhancement applications have a positive effect on the operator's ability to detect and identification details during the image evaluation phase, and as a result, they can affect the land integration period.

**2024, x + 84 pages**

**Keywords:** Satellite, Göktürk-1, Stereo, Cadastre, Artificial intelligence, Deep learning, Super Resolution.



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Murat UYSAL'a, değerli vakitlerini benimle paylaşarak görüş ve önerilerini sunan tez izleme kurulu üyeleri olan Sayın Prof. Dr. Semih EKERCİN ve Dr. Öğretim Üyesi Abdullah VARLIK'a, tez yazım süresince yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Dr. Abdurrahman Yasin YİĞİT'e, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm bütün hocalarıma ve arkadaşlarım ile Harita Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Melike KILINÇ'a ve biricik oğlum Talha'ma sonsuz sevgilerimi iletirim.

Çağrı KILINÇ  
Afyonkarahisar 2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                                                                     | i    |
| ABSTRACT .....                                                                                                 | iii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                                                                 | v    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                              | vi   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                                           | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                                          | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                                        | x    |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                                 | 1    |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                                                                                   | 4    |
| 2.1 Geometrik Doğruluk Kapsamında Yapılan Çalışmalar .....                                                     | 4    |
| 2.2 Uydu Görüntülerinin Kadastro Çalışmaları Kapsamında Kullanılabilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar ..... | 5    |
| 2.3 Uydu Görüntülerinin Süper Çözünürlük Uygulamaları ile İyileştirilmesi Kapsamında Yapılan Çalışmalar .....  | 6    |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                                                                                     | 8    |
| 3.1 Göktürk-1 Uydusu Özellikleri .....                                                                         | 8    |
| 3.1.1 Göktürk-1 Uydusu Algılayıcı Sistemi .....                                                                | 12   |
| 3.2 Geometrik Düzeltme .....                                                                                   | 13   |
| 3.2.1 Geometrik Düzeltme Kullanılan Modeller .....                                                             | 14   |
| 3.2.1.1 Kolinearite (İzdüşüm) Denklemleri .....                                                                | 14   |
| 3.2.1.2 Affin Modeli .....                                                                                     | 16   |
| 3.3 Rasyonel Fonksiyonlar .....                                                                                | 17   |
| 3.4 Uydu Görüntü İyileştirme Çalışmaları .....                                                                 | 18   |
| 3.4.1 Görüntü Keskinleştirme (Panskeskinleştirme) .....                                                        | 18   |
| 3.5 Süper Çözünürlük (Super Resolution) .....                                                                  | 20   |
| 3.5.1 Enterpolasyon Teknikleri ile Süper Çözünürlük .....                                                      | 21   |
| 3.5.2 Yeniden Yapılandırma Tabanlı Yöntemler .....                                                             | 22   |
| 3.5.3 Öğrenme Tabanlı Yöntemler .....                                                                          | 22   |
| 3.6 Derin Öğrenme .....                                                                                        | 22   |
| 3.6.1 Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) .....                                                                         | 23   |
| 3.6.2 Artık Ağlar (ResNet) .....                                                                               | 24   |
| 3.6.2.1 Geliştirilmiş Derin Süper Çözünürlük Ağı (ESDR) .....                                                  | 24   |
| 3.7 Görüntü Kalite Değerlendirmeleri .....                                                                     | 25   |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7.1 Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeği (NIIRS) .....                   | 25 |
| 3.7.2 Referanssız Görüntü Mekansal Kalite Değerlendirme Metriği (BRISQUE)<br>.....           | 26 |
| 4. UYGULAMA.....                                                                             | 27 |
| 4.1 Kullanılan Veri Setleri ve Yazılımlar .....                                              | 29 |
| 4.2 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı .....                                                        | 29 |
| 4.3 Uydu Görüntüsü Yöneltilme İşlemleri .....                                                | 31 |
| 4.4 Fotogrametrik Kıymetlendirme .....                                                       | 32 |
| 4.5 Göktürk-1 Stereo Uydu Görüntülerinin Kadastro Çalışmalarında<br>Kullanılabilirliği ..... | 51 |
| 4.6 Pankeskinleştirme Uygulaması .....                                                       | 57 |
| 4.7 Süper Çözünürlük Uygulaması.....                                                         | 59 |
| 5. BULGULAR .....                                                                            | 68 |
| 6. SONUÇLAR.....                                                                             | 73 |
| 7.KAYNAKLAR.....                                                                             | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                | 83 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| km              | Kilometre     |
| km <sup>2</sup> | Kilometrekare |
| m               | Metre         |
| cm              | Santimetre    |

---

### Kısaltmalar

|         |                                                                   |
|---------|-------------------------------------------------------------------|
| AI      | Artificial Intelligence                                           |
| BRISQUE | Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator               |
| CCD     | Charge Coupled Device                                             |
| CS      | Component Substitution                                            |
| DPBN    | Deep Back Projection Networks for Super Resolution                |
| DWT     | Decimated Wavelet Transform                                       |
| EDSR    | Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super Resolution |
| GS      | Gram-Schmidt                                                      |
| HGM     | Harita Genel Müdürlüğü                                            |
| IHS     | Intensity Hue Saturation                                          |
| KOH     | Karesel Ortalama Hata                                             |
| LP      | Laplacian pyramid                                                 |
| MS      | Multispektral                                                     |
| MRA     | Multi-Resolution Analysis                                         |
| NIIRS   | National Image Interpretability Rating Scales                     |
| NLRMP   | National Land Records Management Programme                        |
| OEEPE   | European Organization for Experimental Photogrammetric Research   |
| PAN     | Pankromatik                                                       |
| PCA     | Principal Component Analysis                                      |
| RPC     | Rational Polynomial Coefficients                                  |
| RFSR    | Random Forest Super Resolution                                    |
| RFM     | Rasyonel Fonksiyon Modeli                                         |
| SR      | Süper Resolution                                                  |
| SYM     | Sayısal Yükseklik Modeli                                          |
| TKGM    | Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü                                     |
| TSİ     | Türkiye Saati                                                     |
| UDWT    | Undecimated Wavelet Transform                                     |
| UNB     | University of New Brunswick                                       |
| VDSR    | Very Deep Super Resolution                                        |
| YKN     | Yer Kontrol Noktası                                               |
| 3B      | Üç boyutlu                                                        |

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1 Göktürk-1 stereo çekimi.....                                                                                                         | 10 |
| Şekil 3.2 Göktürk-1 uydu yörünge özellikleri.....                                                                                              | 10 |
| Şekil 3.3 Göktürk-1 uydusu görüntü işleme seviyeleri. ....                                                                                     | 11 |
| Şekil 3.4 Pushbroom algılayıcı ile yeryüzü arasındaki ilişki. ....                                                                             | 12 |
| Şekil 3.5 Pushbroom sensör. ....                                                                                                               | 13 |
| Şekil 3.6 Pankeskinleştirmenin temel anlatımı (MS 4 bantlı görüntüdür). ....                                                                   | 19 |
| Şekil 3.7 Derin Öğrenme Çalışma Prensipleri. ....                                                                                              | 23 |
| Şekil 3.8 Evrimsel Sinir Ağı Katmanları. ....                                                                                                  | 24 |
| Şekil 3.9 ResNet Mimarisindeki artık birimlerin kıyaslanması. ....                                                                             | 25 |
| Şekil 4.1 Uygulama iş akışı.....                                                                                                               | 28 |
| Şekil 4.2 Çalışma alanının genel görüntüsü (Alan 373 km <sup>2</sup> dir Mavi çizgiler 1/25 000 ölçekli pafta alanlarını göstermektedir). .... | 30 |
| Şekil 4.3 Çalışma alanında 1/5000 ölçekli fotogrametrik harita yapmak için seçilen alan. ....                                                  | 30 |
| Şekil 4.4 Uydu görüntüleri yöneltme işlemleri için kullanılan program arayüzü ve YKN ile bağlama noktalarının dağılımı. ....                   | 31 |
| Şekil 4.5 YKN ile uydu görüntüsünü iç yöneltme sonrası dengeleme işlemi. ....                                                                  | 31 |
| Şekil 4.6 1/25000 ölçekli kıymetlendirme haritası (a), 1/5000 ölçekli kıymetlendirme haritası (b). ....                                        | 32 |
| Şekil 4.7 (a) Hava fotoğrafı ve (b) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                             | 33 |
| Şekil 4.8 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                         | 34 |
| Şekil 4.9 (a) Hava fotoğrafı ve (b) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                             | 34 |
| Şekil 4.10 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 35 |
| Şekil 4.11 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 36 |
| Şekil 4.12 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 37 |
| Şekil 4.13 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 38 |
| Şekil 4.14 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 39 |
| Şekil 4.15 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 40 |
| Şekil 4.16 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 41 |
| Şekil 4.17 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 42 |
| Şekil 4.18 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 43 |
| Şekil 4.19 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                        | 44 |

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.20</b> (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                                                                          | 45 |
| <b>Şekil 4.21</b> (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                                                                          | 46 |
| <b>Şekil 4.22</b> (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                                                                          | 47 |
| <b>Şekil 4.23</b> (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                                                                          | 48 |
| <b>Şekil 4.24</b> (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü. ....                                                                                                                          | 49 |
| <b>Şekil 4.25</b> Stereo çizilen parseller. (Çizilen parsellerin Tapu kayıtlarındaki parseller ile birlikte gösterilmesi amacıyla görsellik sağlaması bakımından ortofoto üzerinde gösterilmiştir)..... | 51 |
| <b>Şekil 4.26</b> Geçici koordinatlı parsel tanımına göre yapılacak hesaplamalarda kullanılacak üretim yöntemine göre belirlenmiş nokta konum doğrulukları. .                                           | 53 |
| <b>Şekil 4.27</b> Parsellerin iç alanı ve dış alanları (yeşil çizgiler orijinal alanı, çemberin iç teğetleri iç alanları, dış teğetler ise dış alanları gösterir.).....                                 | 53 |
| <b>Şekil 4.28</b> Parsel merkezleri. ....                                                                                                                                                               | 55 |
| <b>Şekil 4.29</b> Pankeskinleştirilmiş görüntü. ....                                                                                                                                                    | 57 |
| <b>Şekil 4.30</b> (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü. ....                                                                                                                       | 58 |
| <b>Şekil 4.31</b> (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü. ....                                                                                                                       | 58 |
| <b>Şekil 4.32</b> (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü. ....                                                                                                                       | 59 |
| <b>Şekil 4.33</b> (a) 500x500 piksellik alanda Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile SR uygulaması yapılan görüntü . ....                                                                   | 60 |
| <b>Şekil 4.34</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 61 |
| <b>Şekil 4.35</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 62 |
| <b>Şekil 4.36</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 63 |
| <b>Şekil 4.37</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 64 |
| <b>Şekil 4.38</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 65 |
| <b>Şekil 4.39</b> (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR. ....                                                                     | 67 |
| <b>Şekil 5.1</b> Dengeleme işlemi için YKN dağılımı. ....                                                                                                                                               | 68 |
| <b>Şekil 5.2</b> Düşey konum doğruluğu için kullanılan YKN dağılımı. ....                                                                                                                               | 70 |
| <b>Şekil 5.3</b> SR uygulaması yapılmış pankeskinleştirilmiş görüntüden üretilen ortogörüntü ve doğruluk hesaplaması için YKN dağılımı. ....                                                            | 72 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 3.1.</b> Göktürk-1 Uyduyu teknik özellikleri. ....                                                     | 9  |
| <b>Çizelge 4.1</b> Kıymetlendirilen Detayların Tespit, Tanıma ve Teşhis Edilebilirliği.....                       | 50 |
| <b>Çizelge 4.2</b> Parsellerin hesaplanan iç ve dış alanları.....                                                 | 54 |
| <b>Çizelge 4.3</b> Kadastro çalışmasında yersel ölçmeler ile Uydu görüntüleri arasındaki maliyet.....             | 56 |
| <b>Çizelge 4.4</b> NIIRS Referans Kılavuzu .....                                                                  | 66 |
| <b>Çizelge 5.1</b> Dengeleme sonuçları.....                                                                       | 68 |
| <b>Çizelge 5.2</b> Uydu görüntüsünün hava fotoğrafını karşılama oranı. ....                                       | 69 |
| <b>Çizelge 5.3</b> Göktürk -1 uydusundan üretilen stereo modelin yatay ve düşey doğrulukları. ....                | 70 |
| <b>Çizelge 5.4</b> Göktürk -1 uydusu pankeskinleştirilmiş görüntü stereo modelin yatay ve düşey doğrulukları..... | 71 |
| <b>Çizelge 5.5</b> Görüntülerin NIIRS ve BRISQUE değerleri. ....                                                  | 71 |

## 1. GİRİŞ

Uzaktan algılama bilimi ve sanatı günümüzde birçok alanda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Özellikle çevre, tarım, orman, jeoloji, oşinografi ve meteoroloji gibi farklı alanlarda uzaktan algılama yoluyla elde edilen veriler sıklıkla kullanılmaktadır. Haritacılık alanında da uzaktan algılama ürünlerinden biri olan uydu görüntüleri önemli bir yere sahiptir. Konumsal bilginin güncel, hızlı ve doğru olarak elde edilmesi ile bunların farklı alanlara entegrasyonunda uydu görüntülerinin önemi büyüktür (Xiuwan 2002).

Uzaktan algılama biliminde kullanılan araçlardan birisi olan uyduların avantajlarından biriside büyük alanları daha az sayıda fotoğraf ile görüntüleyebilmesinin yanında uçak, insansız hava sistemleri gibi araçlarla ülkelerin siyasi veya askeri kısıtlamalarından dolayı görüntü alamadığı bölgelerde görüntü sağlayabilmesidir. Bu bağlamda yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile harita üretmek konusunda önemli bir potansiyel vardır.

Uydu görüntüleri orijinal haliyle kullanılamazlar. Çünkü uydu algılayıcının kullanıcıya sunduğu görüntülerin ilk hali çeşitli geometrik bozukluklara sahiptir. Bu bozulmaların sebebi algılayıcı platformdaki hız değişimleri, atmosferik kırılma ve yeryüzünün eğriliği gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanır (Algancı vd. 2011). Bu sorunların çözümü için uydu görüntüleri ile birlikte yörünge parametreleri ya da diğer bir adıyla Rasyonel Polinom Katsayıları (Rational Polynomial Coefficients) (RPC) kullanıcıya verilir. Bu parametreler yardımıyla ve uygun dağılımlı Yer Kontrol Noktaları (YKN) ile uydu görüntülerinin dengeleme işlemleri yapılır. Elde edilen bu doğruluk üretilmesi gereken harita ölçeğinin gerektirdiği doğruluk kriterini sağlamalıdır.

Uydu görüntülerinden gerek harita üretilmesi gerekse harita verisi güncelleme çalışmalarında topografyaya ait doğal ve yapay detayların operatör tarafından ayırt edilip bu detayların yorumlanabilir olması oldukça önemli bir husustur (Kılınç ve Uysal 2024). Detayların görüntüler üzerinde yorumlanabilirliğini sağlayan en önemli etken ise konumsal çözünürlüktür (Forghani 2001). Uyduların konumsal çözünürlüğü arttıkça uydu görüntüleri ile büyük ölçekli harita yapılabileceği değerlendirilmektedir (Li 1988).

Uyduların konumsal çözünürlüğünün düşük ya da yüksek olması sensör yapılarıyla ilgilidir. Ancak günümüzde düşük çözünürlüklü görüntüler için çözüm olarak yapay zekâ destekli süper çözünürlük uygulamaları yapılmaktadır (Garzelli 2016). Süper çözünürlük düşük çözünürlüklü görüntülerin çeşitli yöntemlerle yüksek çözünürlüklü olarak yeniden örneklenmesini ifade eder. Diğer bir ifadeyle düşük konumsal çözünürlüklü görüntü sanki yüksek konumsal çözünürlük sensör kullanılarak alınmış gibi yapmaya çalışmaktır (Fernandez-Beltran vd. 2017).

Süper çözünürlük yöntemleri enterpolasyon tabanlı uygulamalar, yeniden yapılandırma tabanlı uygulamalar ve öğrenme tabanlı yöntemler olmak üzere alt kategorilere ayrılır. Bu sayılan yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır ancak günümüzde kullanılan en yaygın yöntem ve en iyi sonuç elde edilen yöntem derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemidir. Bu amaçla birçok araştırmacı çeşitli yapay zekâ destekli derin öğrenme modeli ağı geliştirmiştir.

Son yıllarda yapay zekâ (AI) yöntemlerinin uzaktan algılama, coğrafi bilgi çıkarımı gibi alanlara da uygulanmaya başlanmış ve Geo-Uzamsal Zekâ (GeoAI) kavramı ortaya çıkmıştır. GeoAI, coğrafi bilgiyi işlemek için gereken zekâ olarak anlaşıldığı gibi geniş anlamda coğrafi verilerin toplanmasını, analiz edilmesini ve yorumlanmasını ifade eder. Günümüzde yapay zekadan uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen görüntülerden otomatik detay çıkarımı, arazi örtüsü haritası, görüntü kıymetlendirme gibi çeşitli alanlarla birlikte konumsal analiz, acil müdahale, çevre yönetimi, askeri planlamaya kadar çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır.

Bir ülkenin yüksek çözünürlüklü görüntü alabilen uyduya sahip olması o ülkenin gelişmesine ve dışa açılmasına önemli katkılar sağlayabilir. Uydunun gerektiği takdirde dünya üzerinde kısıtlama olmaksızın herhangi bir bölgeye yönlendirilerek görüntü alınması, görüntülerin pazarlanarak ticari gelir elde edilmesi ve kriz zamanlarında görüntü temininde kolaylık sağlaması gibi özellikler ülkeler için önemlidir. Bu çalışma da ise Türkiye'nin sahip olduğu 50 cm pankromatik çözünürlüğe sahip yer gözlem uydusu Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri ile 1/5000 ve 1/25000 ölçekli stereo kıymetlendirme

harita üretimi yapılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda fotogrametrik harita üretimi yapılarak detaylar nitel ve nicel olarak hava fotoğrafları ile karşılaştırılmış, 1/5000 ölçekli haritada çizilen parsellerin kadastro çalışmalarında altlık olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve sonrasında süper çözünürlük yöntemleri ile görüntü iyileştirme uygulamaları yapılarak fotogrametrik harita üretimine etkileri analiz edilmiştir. Yapılan tüm bu çalışmaların literatürde yapılan diğer çalışmalardan önemli farklarından birisi geometrik doğruluğun yatay ve düşey olarak incelenmesi ve detay değerlendirme sonuçlarının daha gerçekçi değerlendirme amacıyla stereo görüntüler üzerinden yapılmasıdır. Ayrıca görüntü iyileştirme uygulamalarından süper çözünürlük uygulamalarının harita üretim sürecine etkilerini detaylı bir şekilde inceleyen böyle bir çalışma yoktur. Elde edilen sonuçlar Göktürk-1 uydusunu kullanmak isteyen kişi, kurum ve kuruluşlara karşılaştırma verisi olacağı gibi aynı zamanda ülkemizin uydu görüntülerinden yararlanarak harita üretim açıklarını kapatması yönünden önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışma alanında Göktürk-1 uydusu stereo görüntüleri ile fotogrametrik sayısal harita üretimi kapsamında yapılmış ilk çalışmadır.

## **2. LİTERATÜR BİLGİLERİ**

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de daha kısa sürede büyük alanlara ait haritaların üretilmesi veya güncellenmesi ile bunların coğrafi bilgi sistemleri ile ilişkilendirilip sunulması için çeşitli yöntemler denenmektedir. Bu gibi sorunların çözümü için akla ilk gelen yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile harita üretimidir. Çünkü uydu görüntüleri ile ülke sınırlarından bağımsız olarak her türlü hava koşullarında geniş alanların görüntüleri elde edilebilir. Bu avantaj ise özellikle hava araçları ile görüntü alımında politik ve askeri sınırlamalar nedeniyle yaşanan sıkıntıları ve mevsim şartlarının görüntü alımını engellemesi gibi olumsuzlukları gidermektedir. Bu amaçla literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde daha çok ortogörüntü üzerinden 2B ortamda harita üretimi üzerine yoğunlaşıldığı ve stereo ortamda 3B harita üretimi yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yine yapılan çalışmalar incelendiğinde uydu görüntülerinin manuel ya da otomatik sınıflandırılması, sayısal yükseklik modeli ve ortogörüntü üretimi gibi çalışmaların olduğu görülmüştür. Bizim çalışmamızda ise uydu görüntüleri üzerinden stereo fotogrametrik kıymetlendirme haritası yapılmış ve devamında çizilen parsellerin kadastro çalışmalarında kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Daha sonra ise kullanılan uydu görüntülerine derin öğrenme yöntemiyle görüntü iyileştirme uygulamaları yapılarak çalışmamıza katkıları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan uygulamalar ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar aşağıda kısımlar halinde verilmiştir.

Uydu görüntüleri kullanılarak harita üretimi kapsamında yapılan çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

### **2.1 Geometrik Doğruluk Kapsamında Yapılan Çalışmalar**

Ravanelli vd. (2019), Göktürk-1 uydusundan elde edilen görüntüler kullanılarak ortogörüntü üretimi ile ilgili araştırma yapmışlardır. Bunun için 4,64° ve 24,76° nadir açılarıyla çekilmiş Göktürk-1 uydu görüntüleri ile ortogörüntü oluşturulmuş ve referans olarak 1/2000 ölçekli ortogörüntü ile karşılaştırılarak 8 m ile 10 m yatay konum doğruluklu ortogörüntü üretilebileceği ifade edilmiştir.

Ordnance Survey tarafından uydu görüntülerinden harita üretimi ve güncellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Ridley vd. 1997). Aynı şekilde IKONOS uydu görüntülerinin hava fotogrametrisinin gelişmediği bölgelerde harita üretimi konusunda çalışmalar yapılmıştır (Kumar and Castro 2001). Aynı şekilde Ordnance Survey tarafından 2003 yılında QuickBird uydusu ile harita üretim potansiyeli araştırıldı. Bunun için İngiltere de kırsal ve yoğun yerleşimli test alanları seçilerek topografik harita güncelleme çalışması yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre metre altı çözünürlüklü uydularla 1:6000 ölçekli harita güncelleme çalışmaları yapılabileceği ifade edildi (Holland vd. 2006).

European Organization for Experimental Photogrammetric Research (OEEPE) kurumu tarafından da yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin harita güncellemesi için potansiyel bir kullanım olduğu görülmüştür (Holland vd. 2003). Bu organizasyona ülkemizden de katılım sağlanmıştır.

Biasion vd. (2006), geliştirmekte olan ülkelerde harita üretimi ve güncellenmesi amacıyla uydu görüntülerinin kullanımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada 1m pankromatik çözünürlüklü stereo Orbview-3 (Pan:1m MS:4m çözünürlüklü) uydu görüntüsü kullanarak 1/10000 ölçekli harita yapılabilirliği araştırılmış ancak mevcut çözünürlüğün bu ölçekte harita üretmeye yeterli olmadığı görülmüştür.

## **2.2 Uydu Görüntülerinin Kadastro Çalışmaları Kapsamında Kullanılabilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar**

Babawuro ve Beii (2012), uydu görüntüleri üzerinden görüntü işleme algoritmalarıyla tarım arazilerinin sınırlarının çıkarımı ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda uydu görüntülerinin görüntü işleme algoritmaları kullanarak işlenmesinin arazide detaylı bir kadastral bilgi çıkarımı için güçlü bir veri ve görsel kaynak sağladığı belirtilmiştir.

Wassie Y. A vd. (2018), Worldview-2 uydu görüntüsü kullanarak yarı otomatik kadastro parsel sınırları çıkarmaya çalışmışlar ve sonuç olarak yüksek doğruluğun öncelik olmadığı ancak zaman sorununun olduğu zamanlarda uydu görüntülerinden yararlanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Rao, S. S vd. (2014), Hindistan Ulusal Tapu Kayıtları Modernizasyonu Programı (NLRMP) kapsamında yüksek çözünürlüklü (1m ve 0,50 m) IKONOS uydu görüntülerinin kullanılması ile ilgili bir değerlendirme yapmışlardır. Bu çalışmada parsel sınırları uydu görüntüleri üzerinden çizilmiş ve parseller; alan, çevre uzunluğu ve parsel merkezleri yönünden karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre kadastro çalışmalarında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanımının kadastro modernizasyonu süresini önemli ölçüde kısaltabileceği değerlendirilmiştir.

Ali vd. (2012), QuickBird (0,60 cm Pan ve 2,4 m Multispektral çözünürlüklü) uydu görüntüleri kullanılarak Pakistan ülkesinin bir bölgesinde kadastral haritaların güncellenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak kadastral haritaların güncellenmesinde zaman, maliyet ve insan gücü bakımından uydu görüntüleri kullanmanın yersel ölçümlere göre daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir.

Nacar (2018), yersel ölçmeler ile yapılan kadastro çalışmalarını hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden (Worldview-2) üretilen 1/5000 ölçekli ortofotolardan çizilen kadastro parselleri ile geometrik doğruluk ve maliyet yönünden karşılaştırarak kadastro çalışmalarında ortofoto kullanmanın maliyet açısından avantajlı olduğunu ifade etmiştir.

### **2.3 Uydu Görüntülerinin Süper Çözünürlük Uygulamaları ile İyileştirilmesi Kapsamında Yapılan Çalışmalar**

Literatürde uydu görüntülerine süper çözünürlük uygulanması ile ilgili güncel çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Shermeyer ve Van Etten (2019), uydu görüntülerinde nesne tespitine süper çözünürlük uygulamasının sağladığı katkıyı araştıran bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada iki süper çözünürlük yöntemi olarak Çok Derin Süper Çözünürlük (VDSR) ve Rastgele Orman Süper Çözünürlük (RFSR) yöntemi kullanılmış 30 cm ile 4,8 m arasında beş farklı çözünürlükte görüntüler 2x, 4x ve 8x çözünürlüklü olarak yeniden oluşturulmuştur. Sonuç olarak VDSR'in RFSR'ye göre daha üstün olduğunu ifade edilmiştir. Ayrıca süper

Çözünürlüğün daha düşük çözünürlüklü görüntülerde daha az performans gösterdiği görülmüştür. Uydu görüntülerinde süper çözünürlüğün nesne tespitinde önemli bir ön işleme adımı olabileceği değerlendirilmektedir.

Çiftçi ve Karaman (2020), Landsat uydu görüntülerine hazır eğitilmiş gelişmiş Derin Süper özünürlük Ağı (EDSR) ve Derin Geri Projeksiyon Ağı (DBPN) modelleri ve biküçük enterpolasyon yöntemleri ile yapılan süper çözünürlük performanslarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak EDSR ve DPBN modellerinin görüntülerde keskin geçişli kabul edilebilir sonuçlar olduğunu ifade edilmiş ancak biküçük enterpolasyon ile yapılan uygulamalarda daha yüksek görüntü kalite metrikleri alınmıştır.

Cengiz ve Avcı (2021), Uydu görüntülerinin sınıflandırma başarısının artması için görüntülere derin öğrenme yöntemleri ile süper çözünürlük uygulaması yapılmış ve sonuç olarak sınıflandırma başarısına olumlu etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar yukarıda da bahsedildiği gibi genelde derin öğrenme tabanlı ve araştırmacıların geliştirdikleri çeşitli kodlar ile görüntülerin süper çözünürlük performanslarını incelemek üzerine yapılmıştır. Ayrıca bazı çalışmalar piyasada bulunan hazır paket yazılımlar kullanılarak yapılmıştır. Örneğin Sentinel-2 uydu görüntülerine Topaz AI paket yazılımı kullanılarak görüntü keskinleştirme sonrası 1/25000 ölçekli tematik haritaların güncelleme çalışmaları yapılmıştır (Rokhmana 2021).

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında Ankara bölgesinde 373 km<sup>2</sup>'lik alanda Göktürk-1 uydusuna ait 50 cm çözünürlüklü, 31° bakış açısı ile stereo çekilmiş pankromatik görüntüler kullanılarak 1/5000 ve 1/25000 ölçekli fotogrametrik kıymetlendirme işlemi yapılmış ve aynı zamanda 10 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğrafları ile de kıymetlendirme yapılarak uydu görüntüsü ve hava fotoğraflarından çizilen detayların birbirini karşılama oranları analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan görüntülerin baz yükseklik oranı 1,21'dir.

Uydu görüntülerini dengeleme işlemleri için hem fotogrametrik nirengi yöntemiyle elde edilen Yer Kontrol Noktaları (YKN) hem de yersel ölçmelerle üretilen YKN'ler kullanılmıştır. Kıymetlendirme işlemleri fotogrametrik iş istasyonunda gerçekleştirilmiş elde edilen vektör veriler nitel ve nicel olarak hava fotoğrafları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca uydu görüntüsü üzerinden stereo çizilen kadastro parsellerinin kadastro güncelleme çalışmalarında altlık olarak kullanılabilirliği de incelenmiştir. Sonrasında ise uydu görüntülerine pankeskinleştirme işlemi ve derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük uygulamaları yapılarak elde edilen görüntülerin fotogrametrik kıymetlendirme işlemine etkisi incelenmiştir. Böylece ülkemizde harita üretimi ve kadastro çalışmalarında milli uydumuz olan Göktürk-1 uydusunu kullanım potansiyeli belirlenmiştir.

#### 3.1 Göktürk-1 Uydusu Özellikleri

Göktürk-1 uydusu Türkiye'nin ilk metre altı çözünürlüklü yer gözetleme ve keşif uydusudur. Göktürk-1, ana yüklenici olarak Telespazio ve Thales (%67) ve Leonardo-Finmeccanica (%33) ortak girişimi olarak Thales Alenia Space tarafından Türkiye Savunma Sanayii Müsteşarlığı için üretildi. Uydu çekim faaliyetleri Türk Hava Kuvvetlerinin sorumluluğundadır.

Göktürk-1 05 Aralık 2016'da saat 16.51 de (TSİ) Arianespace tarafından Fransız Guyanası'ndaki Kourou'daki Avrupa Uzay Ajansının VEGA fırlatma sistemi ile uzaya fırlatılmıştır (İnt.Kyn.1). İlk Telemetri sinyali uzaya fırlatıldıktan 68 dakika sonra Telespazio'nun Fucino Uzay Merkezi tarafından alındı. Uydu kütlesi yaklaşık 1000 kg

ve tasarım ömrü 7 yıldır. Göktürk-1 uydusunun teknik özellikleri Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

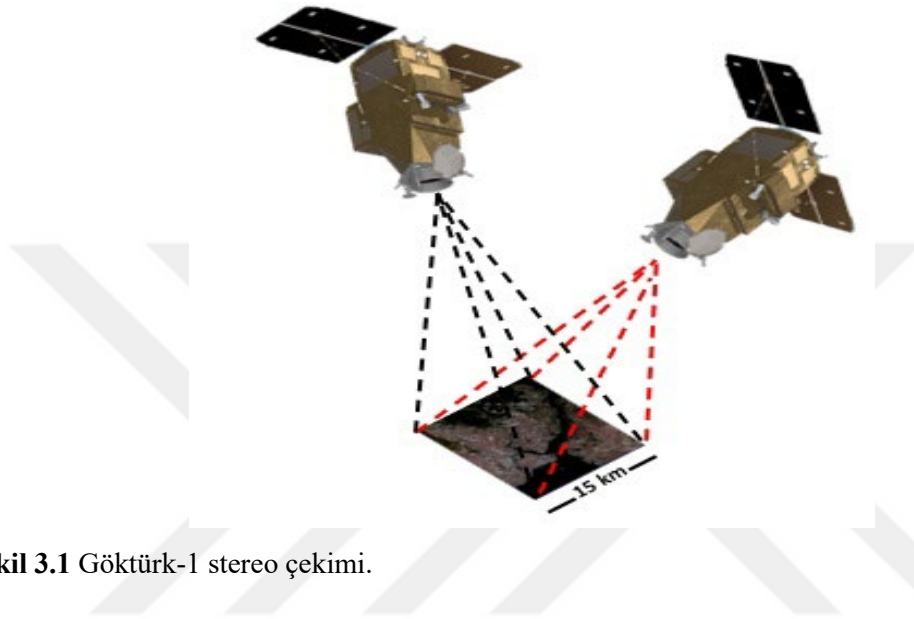
**Çizelge 3.1.** Göktürk-1 Uydusu teknik özellikleri.

| <b>ÖZELLİK</b>                                            |              | <b>GÖKTÜRK-1 UYDUSU</b>                                                  |
|-----------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Yörünge Tipi</b>                                       |              | Güneş Eşzamanlı                                                          |
| <b>Yörünge İrtifası</b>                                   |              | 681 km                                                                   |
| <b>Eğim Açısı</b>                                         |              | 98,11°                                                                   |
| <b>Yörünge Hızı</b>                                       |              | 7,51 km/sn.                                                              |
| <b>Periyot</b>                                            |              | 98 dk 11 sn.                                                             |
| <b>Spot Boyutu</b>                                        |              | 15 X 15 km                                                               |
| <b>Şerit Genişliği</b>                                    |              | 15 km                                                                    |
| <b>Şerit Uzunluğu</b>                                     |              | 780 km (tek geçişte indirebilecek)<br>14.300 km (azami çekim kabiliyeti) |
| <b>Uydu Kütlesi</b>                                       |              | 1061 kg (yakıt dahil)                                                    |
| <b>Çözünürlük (Konumsal)</b>                              |              | 0,5 m PAN – 2 m MS                                                       |
| <b>Radyometrik Çözünürlük</b>                             |              | 11-Bit                                                                   |
| <b>Uydu (On-Board) Depolama Kapasitesi</b>                |              | 192 Gbyte                                                                |
| <b>Yer İstasyonu (Ground Station) Depolama Kapasitesi</b> |              | 6 PByte                                                                  |
| <b>Spektral Bantlar</b>                                   |              | PAN, RGB, NIR                                                            |
| <b>Günlük Yörünge Sayısı</b>                              |              | 14-15 (14,7)                                                             |
| <b>Ana/Yedek İstasyon</b>                                 | Ana İstasyon | GGG<br>(Ahlatlıbel/ANKARA)<br>****                                       |

Göktürk-1 Uydusu herhangi bir bölgesel kısıtlama olmaksızın yüksek çözünürlüklü görüntü alabilir ve çeşitli sivil uygulamalar ile bilimsel çalışmalar için ihtiyaç duyulan görüntüleri kullanıcılara sağlama kabiliyetine sahiptir.

Göktürk-1 optik uydu sistemi farklı çekim modlarına sahiptir. Bunlar spot, şerit, geniş alan, kıyasal ve stereo çekim modlarıdır. Spot modu kare olarak 15 x 15 km’lik alanda görüntü toplayabilir. Günde 900 adet spot görüntü alabilir. Geniş alan çekimi maksimum 410 x 34 km büyüklüğündedir. Görüntü boyutu pankromatik görüntüde 31600 piksel, multispektral görüntüde 7900 pikseldir.

Göktürk-1 uydusu stereo görüntüleri tek geçişte ortalama ileri-geri Pitch açısı  $11^\circ$  ile  $30^\circ$  arasında değişir ve tek geçişte stereo şerit görüntü uzunluğu 15 km ile 410 km arasında değişebilir (Şekil 3.1). Bir stereo görüntü açısal farklarla tek geçişte aynı alanı stereo görüntüleyebilir ya da aynı alanı farklı Pitch (dönme) açılarıyla iki geçişte görüntüler.



Şekil 3.1 Göktürk-1 stereo çekimi.

Göktürk-1, 4600 km'lik iletişim konisine sahiptir ve gün içerisinde uydu ile kurulan iletişim sayısı 4-5'tir (Şekil 3.2). Göktürk-1 uydusunun dünya etrafındaki turunu yaklaşık 98 dakikada tamamlar. Zamansal çözünürlük olarak ifade edilen aynı noktanın tekrar çekim süresi 2-3 gündür.

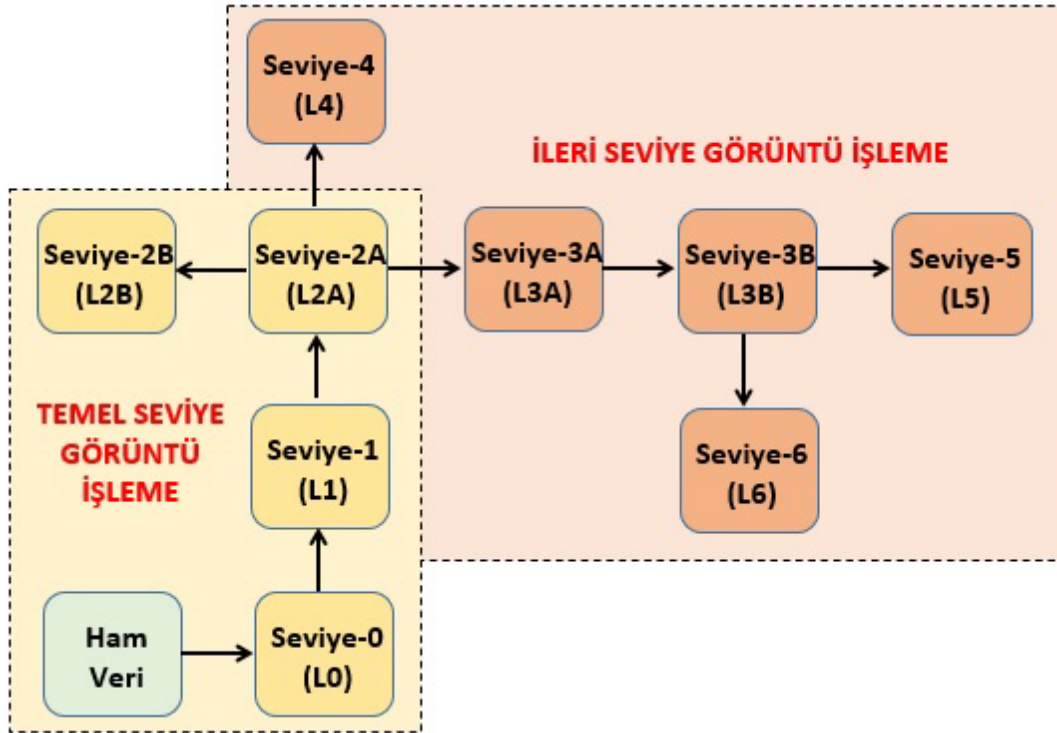


Şekil 3.2 Göktürk-1 uydu yörünge özellikleri.

Göktürk-1 uydusu görüntüleri temel ve ileri seviye olmak üzere (Seviye-0 ve Seviye-6) yedi tane görüntü seviyesi bulunmaktadır. Bunlar;

- L0: Ham görüntü.
- L1: Radyometrik bozuklukların giderilmesi.
- L2A: Geometrik düzeltme işlemleri yapılmış görüntü.
- L2B: L2A seviye görüntünün georektifikiye yapılması
- L3A: Ortogörüntü
- L3B: YKN ile ortogörüntü üretilmiş görüntü.
- L4: Dijital Yükseklik Modeli (SYM)
- L5: Mozaiklenmiş görüntü.
- L6: Sınıflandırma işlemi yapılmış görüntü.

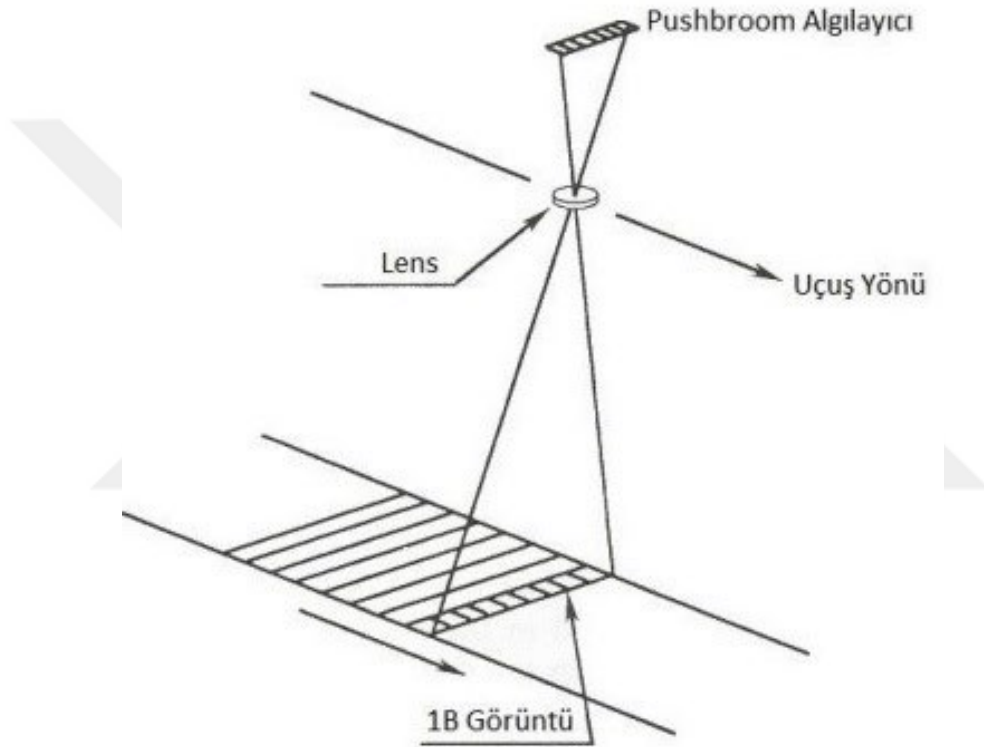
Burada L0, L1 ve L2 seviyeler temel, L3, L4, L5 ve L6 seviyeler ise ileri seviye görüntülerdir (Şekil 3.3). Bizim tez çalışmasında kullandığımız görüntüler L2A seviye stereo görüntülerdir.



Şekil 3.3 Göktürk-1 uydusu görüntü işleme seviyeleri.

### 3.1.1 Göktürk-1 Uydusu Algılayıcı Sistemi

Göktürk-1 uydusu yüksek çözünürlüklü (VHR) pushbroom (doğrusal dizin) görüntüleme sistemlerine sahip olup pankromatik modda 0,50 m, mutispektral modda ise (Red, Green, Blue, Near IR) dört spektral bant olmak üzere 2 m konumsal çözünürlüklü algılama yapabilmektedir. Pushbroom (doğrusal dizin) algılayıcı sistemleri en basit şekliyle odak düzleminde bulunan detektörlerin doğrusal dizinini içerir (Şekil 3.4) (Büyüksalih 1999).



Şekil 3.4 Pushbroom algılayıcı ile yeryüzü arasındaki ilişki (Kartal 2017).

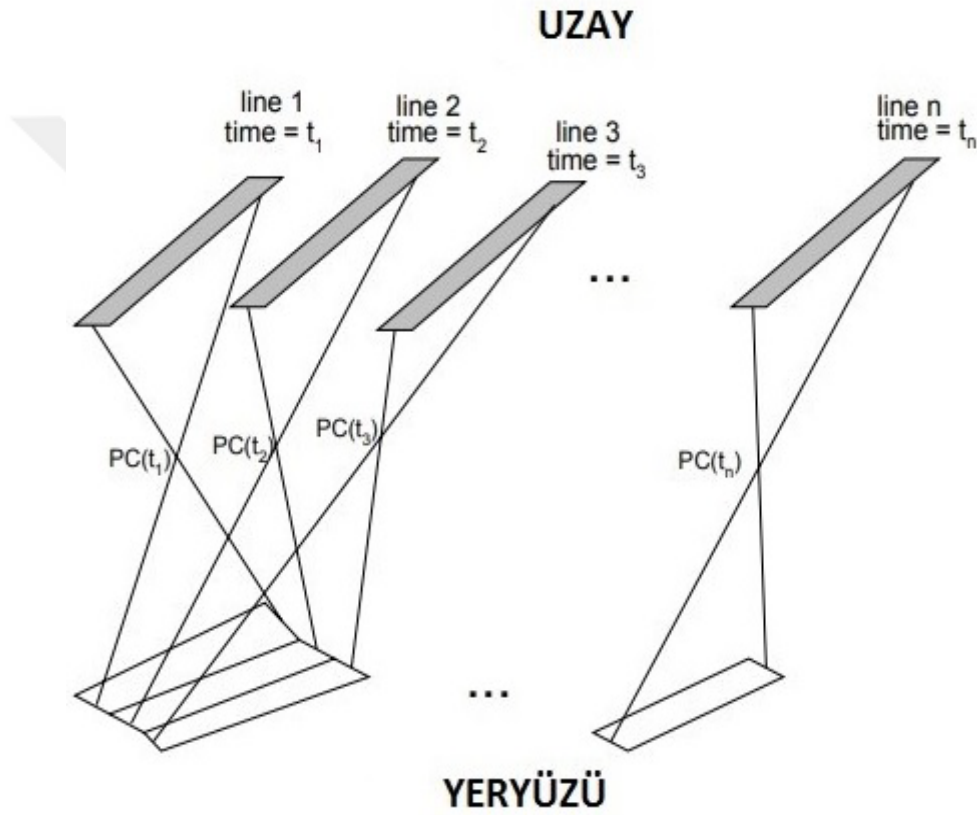
Doğrusal dizin algılayıcıların çalışma sistemi çok sayıda sıralı dizilmiş yük bağlaşımlı cihaz (Charge Coupled Device) (CCD) kullanımı ile açıklanır (Şekil 3.5). CCD görüntü sensörleri, yüksek kaliteli görüntü veri elde etmek amacıyla bilimsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (İnt.Kyn. 2).

Pushbroom algılayıcılar ile uydu görüntüsü, uçuş yönündeki her algılama zamanındaki alınan görüntülerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Görüntüler platformun hareketleri süresince farklı noktalardan algılandığı için görüntülerin her biri için farklı dış yöneltme

elemanları olmaktadır. Bu sebeple doğrusal dizin algılayıcılar ile algılanan görüntülerde bir adet dış yöneltme elemanı yerine zamana bağlı fonksiyonlardan oluşan dış yöneltme elemanları olmaktadır (Kartal 2017).

Pushbroom algılayıcıların avantajları şu şekildedir:

- Elde edilen görüntüler daha yüksek konumsal ve radyometrik çözünürlüğe sahiptirler.
- Yüksek güvenilirlik ve uzun ömre sahiptirler.



Şekil 3.5 Pushbroom sensör.

### 3.2 Geometrik Düzeltme

Uydu görüntülerinde algılayıcı sistemler, atmosfer ve dünya kaynaklı nedenlerden dolayı çeşitli geometrik bozulmalar bulunur. Bunlar düzeltilmeden direkt olarak kullanılamazlar. Bu bozulmaların giderilmesi için matematiksel modellere ihtiyaç vardır. Uydu görüntülerinde geometrik düzeltme işlemleri için yeryüzünün üç boyutlu uzay ile

iki boyutlu görüntü uzayı arasındaki ilişkiyi sağlayacak modeli seçmek gerekir. Bu modeller fiziksel ve matematiksel modeller olarak iki türdür. Seçilen model, geometrik düzeltmenin doğruluk seviyesi ve algılayıcı ile ilgili fiziksel parametrelerin olup olmadığı ile yakından ilgilidir (McGlone 1996).

Görüntülerin nasıl oluştuğunu açıklayan modeller fiziksel modellerdir. Fiziksel modellerin avantajı daha yüksek doğruluk sağlamalarıdır. Ancak günümüzdeki algılayıcılar çok çeşitli olduğundan her bir algılayıcı türü için farklı model oluşturup dengelemek ve kullanmak karmaşık matematiksel modelleri çözmeyi gerektirdiği için zaman bakımından verimli bir uygulama olmayabilir (Hu ve Tao 2001). Matematiksel modeller ise algılayıcıdan bağımsız çalışabildiği için kullanım kolaylığı açısından daha fazla tercih edilmektedir. Uydu görüntülerinde geometrik düzeltmede doğruluk üzerinde etkili olan en önemli faktörler kullanılacak dönüşüm modelinde kullanılan parametrelerin hassasiyeti ve işlemde kullanılan verilerin doğruluğudur.

### 3.2.1 Geometrik Düzeltme Kullanılan Modeller

#### 3.2.1.1 Kolinearite (İzdüşüm) Denklemleri

Fotogrametrik olarak elde edilmiş görüntülerde ki nesnelerin, fotoğraf ile nesne uzayı arasındaki koordinatların matematiksel olarak ilişkilendirilmesi fotogrametrinin en önemli problemlerinden birisidir. Bu problemin çözümü için izdüşüm denklemleri kullanılır.

İzdüşüm denklemleri aşağıdaki 3.1 eşitliği ile ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 x_a = x_0 - f & \frac{[\alpha_{11}(X_A - X_C) + \alpha_{12}(Y_A - Y_C) + \alpha_{13}(Z_A - Z_C)]}{[\alpha_{31}(X_A - X_C) + \alpha_{32}(Y_A - Y_C) + \alpha_{33}(Z_A - Z_C)]} \\
 y_a = y_0 - f & \frac{[\alpha_{21}(X_A - X_C) + \alpha_{22}(Y_A - Y_C) + \alpha_{23}(Z_A - Z_C)]}{[\alpha_{31}(X_A - X_C) + \alpha_{32}(Y_A - Y_C) + \alpha_{33}(Z_A - Z_C)]}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte (3.1);

$x_a, y_a$  = Görüntü koordinatlarını,

$X_A, Y_A, Z_A$  = Arazi koordinatlarını,

$X_C, Y_C, Z_C$  = İzdüşüm merkezinin koordinatlarını,

$\alpha_{11} - \alpha_{33}$  = Dönüklük matris elemanlarını,

$x_0, y_0$  = Fotoğraf orta noktasının koordinatları

$f$  = Odak uzaklığını ifade eder.

Pushbroom (doğrusal dizin) algılayıcılar ile algılanmış görüntüler satır satır elde edilen farklı görüntülerin birleştirilmesiyle oluştuğundan her satır için farklı dönüklük parametreleri kullanılmalı ve sonuç olarak da izdüşüm denklemleri yeniden tasarlanmalıdır (Liang vd. 2012).

Uydu görüntüleri için yukarıda bahsedilen izdüşüm denklemleri kullanılabilir olsa bile algılama esnasında oluşabilecek bazı distorsiyonları dikkate almak gerekir.

Bu distorsiyonlar aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanabilir:

- Uydunun konumundan, hızından ve yörüngeye göre açısından kaynaklanan bozulmalar.
- Dünyanın şeklinden kaynaklı bozulmalar.
- Elipsoid ile projeksiyon arasındaki dönüşümden kaynaklı bozulmalar.
- Algılayıcının dönüklük, görüntüleme açılarından kaynaklanan bozulmalardır.

Toutin (2004), yukarıda belirtilen distorsiyonları yok etmek için geliştirilen izdüşüm denklemleri, aşağıda belirtilen dönüklükler ile konumsal farklılığı hesaba dahil etmektedir:

- Uydunun dünya merkezine göre olan konum farklılığı.
- Algılayıcıların uydulara göre olan dönüklükleri.
- Uydunun zamana bağlı olan dönüklüğü.
- Görüntü merkezinin konumu.
- Y eksenin boylam çizgileri ile arasındaki dönüklük.
- X ekseninin algılayıcının tarama yönünde olan dönüklüğü.

Nesne uzayı verilen bir objenin görüntü uzayına karşılık gelen koordinatları aşağıda belirtilen 3.2 eşitliği ile bulunabilir (Toutin 2004).

$$\begin{aligned}
 Pp + y(1 + \delta\gamma X) - \tau H - H_0 \Delta T^* &= 0 \\
 X + \theta H / \cos \chi + \alpha q(Q + \theta X - H / \cos \chi) - Q \Delta R &= 0 \\
 X &= (x - ay)(1 + h/N_0) + by^2 + cxy \\
 H &= h - X^2/2N_0
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Yukarıdaki eşitlikte (3.2);

$H$  = Nesne yüksekliğini,

$H_0$  = Uydu görüntüsünün merkez satırındaki yüksekliğini,

$N_0$  = Elipsoid normalini,

$a$  = Dünyanın dönüşünü ifade eden fonksiyonu,

$\alpha$  = Algılama açısını,

$p, q$  = Görüntü koordinatlarını,

$P, Q$  =  $X$  ve  $Y$  ölçek katsayılarını,

$\tau$  ve  $\theta$  =  $X$  ve  $Y$  yönündeki dönüklükleri,

$\Delta T^*$  ve  $\Delta R$  = Dönüklüklerde doğrusal olmayan sapmaları,

$x, y, h$  = Nesne uzayındaki koordinatları,

$b, c, \chi, \delta\gamma$  = Uydu, dünya ve görüntü arasındaki geometriyi ifade eden fonksiyonun 2. dereceden terimlerinin katsayısını ifade eder.

### 3.2.1.2 Affin Modeli

Görüntülerin geometrik düzeltmeleri için kullanılan Affin modeli, hesaplamada kullanılan parametre sayısının az olmasından dolayı kullanım kolaylığı sağladığı için yaygın olarak kullanılır. Affin modelinin matematiksel modeli aşağıda Eşitlik 3.3 ile ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 x &= A_1 \cdot X + A_2 \cdot Y + A_3 \cdot Z + A_4 \\
 y &= A_5 \cdot X + A_6 \cdot Y + A_7 \cdot Z + A_8
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Eşitlik 3.3 de;

$x, y$  = Görüntü koordinatlarını,

$X, Y, Z$  = Yer Kontrol Noktalarının (YKN) koordinatlarını,

$A_1$ -  $A_8$  = Affin dönüşüm parametrelerini ifade etmektedir.

Pushbroom (Doğrusal Dizin) tipi algılayıcılar ile algılanan görüntülerde bakış açısına bağlı olarak perspektif bozulmalar meydana gelebilir. Bu perspektif bozulmalar görünen ile gerçek şekil arasındaki farklardır. Geometrik düzeltmede Affin modeli kullanılacak ise bu bozulmaların düzeltilmesi sonuç doğruluğunu etkileyecektir.

### 3.3 Rasyonel Fonksiyonlar

Rasyonel Fonksiyonlar, nesnenin yeryüzü koordinatının görüntü koordinat sistemine dönüştürülmesi amacıyla kullanılan bir modeldir (Hu vd. 2004). Rasyonel Fonksiyonlar sivil amaçlı kullanımlar için IKONOS uydusunun yörüngeye yerleştirilmesi sonucunda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve konum doğruluğu bakımından parametrik modelle elde edilen doğrulukla karşılaştırıldığında 0,05 piksellik fark olduğu görülmüştür (Grodecki ve Dial 2001). Günümüzde Rasyonel Fonksiyonlar uydu görüntüsü sunucuları tarafından kullanıcıya görüntülerle birlikte verilmektedir. YKN kullanarak rasyonel fonksiyonun bilinmeyen parametrelerini hesaplamak için aşağıda Eşitlik (3.4) de verilen genel bağıntı kullanılır.

$$R_{3D}(XYZ) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4 de;

$X, Y, Z$  = Yeryüzü koordinatlarını,

$i, j, k$  = Tamsayı artış değerlerini,

$m, n, p$  = Tamsayı değerlerini,

$m+n+p$  = Polinom fonksiyonun derecesini ifade etmektedir.

Rasyonel Fonksiyon Modeline ait katsayıların (RPC) belirlenmesi için algılayıcıya bağımlı ve algılayıcıdan bağımsız yöntem olmak üzere iki yöntem bulunur.

Algılayıcıdan bağımsız yöntemlerde çok sayıda yer kontrol noktaları kullanarak bilinmeyenler bulunmaya çalışılır ve bulunan sonuçlar arazinin yüksekliğine çok duyarlıdır. İkinci yöntemde ise uydunun konum ve dönüklük bilgileri kullanılarak Rasyonel Polinom Katsayılarının (RPC) belirlenir ve yöntem doğruluk bakımından daha iyi sonuçlar verir (Grodecki ve Dial 2003).

Uydu görüntüleri ile birlikte kullanıcıya sunulan Rasyonel Polinom Katsayılarının (RPC) doğrudan kullanılması sonuçlarda yeterli doğruluğu sağlayamayacaktır. Bu nedenle katsayılara ve katsayılar kullanarak elde edilen koordinatlara getirilen düzeltmeler sayesinde iyileştirme sağlanabilir. Rasyonel Fonksiyon Modeli doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki yöntem ile iyileştirilebilir. Doğrudan iyileştirme RPC'ler yeniden hesaplanarak yapılır. Bu hesaplama işlemi yapılırken iki farklı yer kontrol nokta seti kullanılır. Bunlardan birisi RPC belirlenirken kullanılan YKN'ler ile sonradan ölçülen YKN'lerdir. Orijinal RPC katsayılarını belirlerken YKN'ler kullanılmamış ise sonradan ölçülen YKN'ler iteratif yöntemle kullanılabilir (Hu vd. 2004). Bianconi vd. (2007), Dolaylı RFM iyileştirmesinde orijinal RPC katsayıların yeniden hesaplanması gerekmekte sadece elde edilen sonuçlara En küçük kareler yöntemiyle elde edilen parametreler yardımıyla düzeltmeler getirilmektedir.

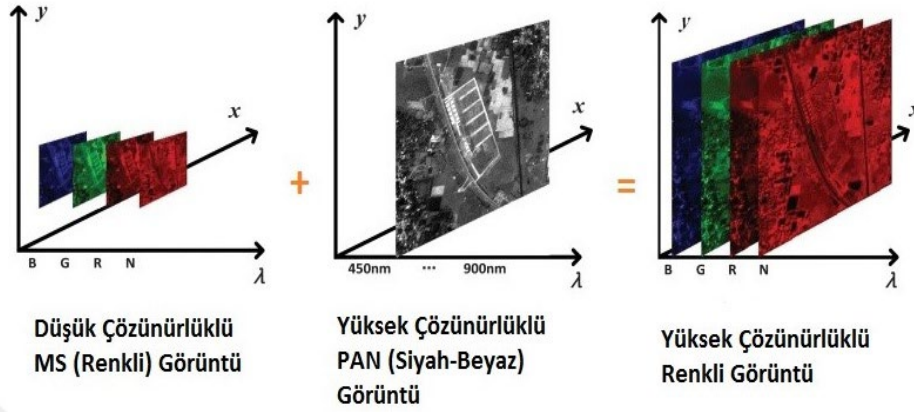
### **3.4 Uydu Görüntü İyileştirme Çalışmaları**

Yapılan tez çalışması kapsamında Göktürk-1 uydu görüntülerinde detay tanınabilirliğini arttırmak ve nesneleri yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla görüntü keskinleştirme (pankeskinleştirme) uygulaması ile süper çözünürlük uygulamaları yapılmıştır.

#### **3.4.1 Görüntü Keskinleştirme (Panskeskinleştirme)**

Uzaktan Algılamada görüntü keskinleştirme, görüntü birleştirme/füzyon veya pansharping adları ile isimlendirilen işlem; yüksek çözünürlüklü pankromatik (PAN) uydu görüntülerinin düşük çözünürlüklü multispektral (MS) uydu görüntüleri ile birleştirilerek yüksek çözünürlüklü renkli görüntü elde edilmesini ifade eder (Şekil 3.6).

Siyah beyaz olan yüksek çözünürlüklü PAN görüntü ile spektral bantlara sahip MS görüntü çeşitli algoritmalar yardımıyla birleştirilerek görüntü iyileştirmesi yapılabilir.



**Şekil 3.6** Pankeskinleştirmenin temel anlatımı (MS 4 bantlı görüntüdür).

Pankeskinleştirme için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir ancak elde edilen sonuçlarda görüntünün çözünürlüğünü artırırken renk bilgisini korumakta önemli kriterlerdir. Çünkü pankeskinleştirmenin en önemli sorunlarından birisi görüntüde spektral bozulmalara neden olmasıdır. Bu durum pankeskinleştirme işlemi sonucu nesne yorumlama veya otomatik detay çıkarımı çalışmalarında dezavantaj yaratmaktadır.

Pankeskinleştirme yöntemleri genel olarak dört sınıfa ayrılır. Bunlar; Component Substitution (Bileşen yerdeğiştirme) (CS), Multi-Resolution Analysis (Çoklu çözünürlük analizi) (MRA), Bayesian Approach (Bayesian yaklaşımı) ve Variational Approach (varyosyanel yaklaşım) dır. CS yöntemlerinde, Multi Spektral (MS) görüntü uzaysal ve spektral bilgileri ayırmak için ayrı bir uzaya yansıtılır ve sonrasında uzaysal bilgiyi içeren bilgilerin yerine PAN görüntüsü getirilerek tekrar birleştirilir. CS yöntemleri arasında Intensity Hue Saturation (IHS), Principal Component Analysis (PCA), Gram-Schmidt (GS), Brovey yöntemleri yaygın olarak kullanılır. MRA yöntemleri ise CS yöntemlerinden farklı olarak PAN görüntülerinin multi çözünürlükte ayrıştırılması sonucu elde edilen uzaysal ayrıntıların MS görüntülerinin spektral bantları ile birleştirilmesi esasına dayanır. MRA yöntemleri, Decimated Wavelet Transform (Azaltılmış dalgacık dönüşümü) (DWT), Undecimated Wavelet Transform (azaltılmamış dalgacık dönüşümü) (UDWT), Laplacian pyramid (Laplas piramidi) (LP) gibi

dönüşümleri içerir. CS ve MRA birleşimini içeren hibrit yöntemlerde kullanılmaktadır. Bayesian modelinde ise Multispektral görüntü ile Pankromatik görüntülerini istatistiksel yöntemlerle birleştirmeye çalışılır. Bayesian modeli ayrıca görüntü segmentasyonu, süper çözünürlük, görüntü enterpolasyonu gibi uygulamalar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Varyasyonel yaklaşım ise Bayesian yaklaşımın daha özel bir durumu olarak pansharping işlemini çeşitli fonksiyonel formüller ve parametreler kullanarak optimizasyon problemi çözümü gibi yapılmasını ifade eder. Pankeskinleştirmede yukarıda bahsedilen yöntemler kullanıldığı gibi araştırmacıların geliştirdiği öğrenme tabanlı yöntemlerde kullanılmaktadır. (Ding vd. 2014, Masi vd. 2016, Wei vd. 2017, Yang vd. 2017).

Bu tez çalışmasında pankeskinleştirme işlemi için ticari yazılım olan PCI programı kullanılmıştır. Çünkü PCI, Göktürk-1 metaveri dosyalarını okumak için yazılım bulundurmaktadır. PCI pankeskinleştirme işleminde IHS ve Wavelet dönüşümlerini ve UNB algoritmasını kullanmaktadır. UNB (University of New Brunswick) algoritması Dr. Yung Zang tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Elde edilen sonuçlar hem konumsal doğruluk hem de fotogrametrik kıymetlendirmeye etkisi bakımından değerlendirilerek bulgular kısmında açıklanmıştır.

### **3.5 Süper Çözünürlük (Super Resolution)**

Uydu görüntülerinde çözünürlük kavramı dört kısma ayrılır. Bunlar, Konumsal, Spektral, Radyometrik ve Zamansal çözünürlüktür. Zamansal çözünürlük harici diğer çözünürlük türleri uydu görüntüleri üzerinde detay seçme performansını doğrudan etkiler. Dolayısıyla çözünürlük görüntü üzerinde detay seçme ve algılayıcı sensörün hassasiyetini gösteren bir ölçüttür.

Uzaya gönderilmiş bir uydunun algılayıcı sensörlerinin yüksek görüntü algılama yapması için tekrar değiştirilmesi imkânsız olduğu gibi uydunun tasarlanması aşamasında yüksek çözünürlüklü uydu olarak üretilmesi çok yüksek maliyet gerektirmektedir. Ancak araştırmacılar düşük çözünürlüklü veya mevcut çözünürlüğün kullanım amacına uygun olmadığı durumlarda problemlerin çözümü için süper çözünürlük kavramı ortaya

atmışlardır. İşte süper çözünürlük, düşük çözünürlüklü görüntülerin çeşitli görüntü işleme aşamalarından sonra yüksek çözünürlüklü hale getirilmesidir (Singh ve Singh, 2020). Süper çözünürlük sonrası oluşan görüntüde piksel yoğunluğu artırılarak görüntüde detay seçilebilirliği artırılır. Süper çözünürlük uygulaması; uzaktan algılama, tıp, medikal vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Süper çözünürlük uygulamasının avantajları şu şekilde sıralanabilir (Fernandez-Beltran vd. 2017);

- Uydu donanımına bağlı olmadan düşük çözünürlüklü görüntülerden yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilir.
- Donanım tabanlı görüntü sorunlarına çözüm getirebilir.

Süper çözünürlük uygulamaları; enterpolasyon teknikleri, yeniden yapılandırılmalı yaklaşımlar, öğrenme tabanlı yaklaşımlar ile hibrit yöntemler kullanarak yapılabilir.

### **3.5.1 Enterpolasyon Teknikleri ile Süper Çözünürlük**

Enterpolasyon en basit tanımıyla değeri bilinen veriler yardımıyla değeri bilinmeyen verileri üretmektir. Görüntü enterpolasyonu ise düşük çözünürlüklü görüntüyü enterpole ederek yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturmaktır. Bu yöntemde görüntüdeki detaylardan bağımsız olarak sadece pikseller sayısı artırılır.

Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan enterpolasyon türleri şunlardır; bilineer enterpolasyon, en yakın komşu enterpolasyonu ve bikübik enterpolasyondur. Bilineer enterpolasyonda bilinmeyen pikselin değerini pikselin etrafındaki dört pikselin değerlerinin ağırlıklı ortalamasını alarak bulunmasıyla yapılır. Bu enterpolasyon yöntemi en yakın komşu enterpolasyonundan daha iyi sonuç verir ve bikübik enterpolasyona göre daha az hesaplama süresi vardır. En yakın komşu enterpolasyonu, bilinmeyen pikselin değerini en yakındaki komşu pikselin değeri ile belirler. Piksel ne kadar yüksek çözünürlükte olursa o kadar iyi sonuç verir ancak piksel yoğunluğundan dalgalanmalara neden olabilir. Bikübik enterpolasyon ise değeri bilinmeyen pikselin etrafındaki 16 pikselin değerinin ağırlıklı ortalamaları kullanılarak yapılır. Ancak bu enterpolasyon çeşidi diğer enterpolasyon yöntemlerine göre daha fazla hesaplama süresi gerektirir (Fritsch ve Varlson 1980).

Bikübik enterpolasyon yöntemi ile elde edilen görüntüler diğer enterpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verir.

### **3.5.2 Yeniden Yapılandırma Tabanlı Yöntemler**

Yeniden yapılandırma tabanlı yöntemlerle süper çözünürlük uygulaması, enterpolasyon tabanlı yöntemlerden kaynaklanan dezavantajları gidermek için kullanılmıştır. Yeniden yapılandırma tabanlı yöntemde düşük çözünürlüklü görüntü ölçeklendirilerek yeniden yapılandırılır ve yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturulur. İkinci aşamada ise düşük çözünürlüklü görüntüden detay çıkarımı yapılarak son aşamada oluşturulan yüksek çözünürlüklü görüntü ile detaylar birleştirilerek yeni görüntü elde edilmiş olur. Bu yöntemler enterpolasyon tabanlı yöntemlere göre daha iyi performans gösterir (Deshpande ve Patavardhan 2019).

### **3.5.3 Öğrenme Tabanlı Yöntemler**

Öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemleri günümüzde yaygın olarak kullanılmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Öğrenme tabanlı yöntemlerde temel mantık, farklı veri setlerinden oluşan görüntülerin yüksek çözünürlüklü görüntüsü ile düşük çözünürlüklü görüntüleri arasında ilişki öğrenilir ve süper çözünürlüklü görüntüler elde edilir. Bu yöntem klasik öğrenme metotları ve derin öğrenme metotları olmak üzere iki grupta incelenir. Ancak derin öğrenme yöntemleri ile yapılan süper çözünürlük uygulamaları daha iyi sonuçlar vermektedir (Anwar vd. 2019).

## **3.6 Derin Öğrenme**

Derin öğrenme bilgisayarlara verileri işlerken insan beyni gibi düşünerek işlemeyi öğreten bir yapay zekâ (AI) yöntemidir.

Bunun için modellenmiş yapay sinir ağları kullanılır. Yapay sinir ağları ise bilgisayarda birlikte çalışan yapay nöronlardan oluşur. Yapay nöronlar ise verileri işlemek amacıyla matematiksel hesaplamalar yapan yazılım modülleridir. Derin öğrenme günümüzde otomotiv, savunma, tıp, havacılık, endüstri gibi hayatımızın hemen her alanında kullanılmaktadır. Derin öğrenme üç bileşenden oluşur; girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı (LeCun vd. 2015). Çalışma prensibi ise şu şekildedir: İnsan beyninin

çalışma şekline benzer şekilde modellenmiş algoritmalar olan sinir ağları daha önceden toplanan büyük veri setleri ile eğitilirler. Sinir ağları eğitilen bu veriler yardımıyla giriş verilerini insan müdahalesine gerek kalmadan analiz eder ve sonucu evet veya hayır cevaplarını verebilen çıktı katmanlarına iletir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Derin Öğrenme Çalışma Prensibi.

Öğrenme tabanlı yöntemlerde temel mantık düşük çözünürlük görüntülerin daha önceden eğitilmiş veri seti yardımıyla süper çözünürlüklü hale getirilmesidir.

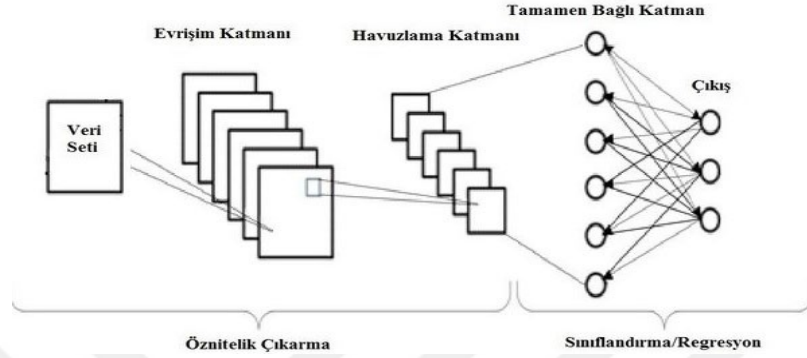
Elde edilen sonuçların kalitesi eğitim veri setindeki görüntülerin düşük çözünürlüklü görüntülere benzerliği ile orantılıdır. Bu nedenle geniş bir eğitim veri seti oluşturulması gibi nedenlerden dolayı maliyetli bir uygulamadır.

Derin öğrenme tabanlı yöntemler kullanılan hata fonksiyonun türüne ve ağ mimarisine göre gruplanabilir. Yaygın olarak evrişimsel, çekişmeli üretken ağı ve artık blok kullanımı gibi modeller kullanılır. Bu tez çalışmasında ise evrişimsel ve artık blok ağ mimarisi modeli kullanan Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super Resolution (EDSR) (Geliştirilmiş Derin Süper Çözünürlük Ağı) kodu ve Tensorflow kütüphanesi kullanılmıştır. Aynı zamandan piyasada paket yazılım olarak bulunan Topaz yazılımı kullanarak da süper çözünürlük uygulaması yapılarak sonuçlar nitel ve görsel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların fotogrametrik kıymetlendirmeye etkisi yorumlanmıştır. Bu kısımda EDSR ve Tensorflow hakkında bilgi verilecek sonuçlar bulgular kısmında açıklanacaktır.

### 3.6.1 Evrişimsel Sinir Ağı (ESA)

Evrişimsel sinir ağı (Convolutional Neural Networks, CNN); görüntü işleme, görüntü sınıflandırma ve görüntü segmentasyonu gibi işlemlerde kullanılan bir yapay sinir ağıdır (Gao vd. 2017). Bir CNN mimarisi genel olarak; giriş katmanı, evrişim (convolution)

katmanı, ortaklama (pooling) katmanı ve tam bağlantı katmanlarından oluşur (Şekil 3.8). Convolution ve pooling katmanları gizli katmanların yapısını oluşturur. CNN yapay sinir ağlarından farklı olarak derinlik, genişlik ve yükseklik (3B) bilgisi olan 3B nöronlara sahiptir. Her bir nöron ağırlık katsayısına sahiptir.



**Şekil 3.8** Evrişimsel Sinir Ağı Katmanları.

### 3.6.2 Artık Ağlar (ResNet)

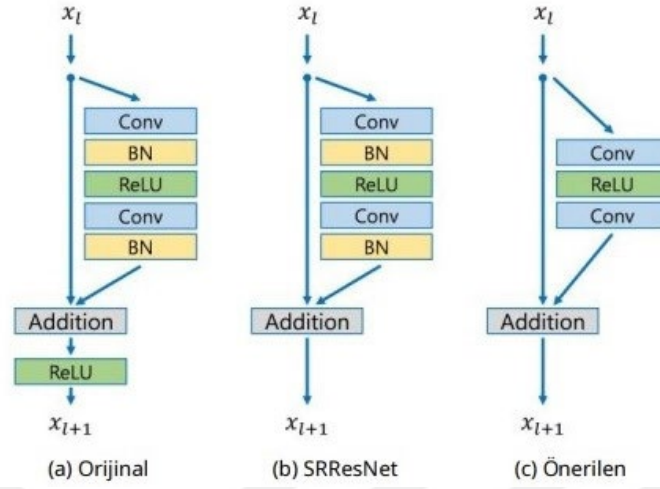
Türkçeye Artık ağlar olarak çevrilmiş (Residual Network, ResNet), Kaming vd. (2016) tarafından tanıtılmış bir sinir ağı türüdür. Derin ağlarda eğitim güçlüklerine karşı çözüm sağlaması amacıyla kullanılmıştır.

ResNet'in en önemli özelliği bir katmanın çıkışını değil, girişini direkt sonraki katmanın çıkışına ekleyerek giriş ve çıkış arasındaki farkı öğrenir. ResNet ağın öğrenmesini kolaylaştırmak ve aşırı öğrenmeyi engellemek için identity mapping kullanır. Identity mapping ile giriş ve çıkış boyutları eşitlenerek ağın öğrenmesi kolaylaştırılır.

#### 3.6.2.1 Geliştirilmiş Derin Süper Çözünürlük Ağı (ESDR)

Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super Resolution (EDSR) (Geliştirilmiş Derin Süper Çözünürlük Ağı), Lim vd. (2017), tarafından ResNet mimarisinde değişiklikler yaparak süper çözünürlük uygulamaları için geliştirilmiştir. Standart ResNet mimarisi toplu normalizasyon katmanı içermektedir. Toplu normalleştirme katmanı sinir ağlarını eğitirken ortaya çıkan sıkıntıları gidermek için kullanılmıştır. Temel mantığı şu şekildedir: Ağın her eğitim tekrarında ilk olarak ortalamaları çıkarır ve girdileri standart sapmaları ile bölerek normalleştirmektedir. Ancak Lim ve arkadaşları toplu normalleştirme katmanını artık birimden kaldırarak süper

Çözünürlük uygulamasında üstün performans elde etmeyi başarmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 ResNet Mimarisindeki artık birimlerin kıyaslanması (Lim vd. 2017).

### 3.7 Görüntü Kalite Değerlendirmeleri

Süper özünürlük ve pankeskinleştirme uygulamaları ile iyileştirilen görüntülerin kalite değerlendirmeleri için Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeği (NIIRS) ve Referanssız Görüntü Mekansal Kalite Değerlendirme Metriği (BRISQUE) kullanılmıştır.

#### 3.7.1 Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeği (NIIRS)

National Imagery Interpretability Rating Scale (Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeği (NIIRS), İlk olarak 1970 de ortaya çıkmış ve çeşitli görüntüleme sistemlerinden elde edilen görüntüleri derecelendirmek için kullanılan görev tabanlı bir ölçektir. NIIRS, ABD Hükümeti Görüntü özünürlüğü Değerlendirmeleri ve Raporlama Standartları (IRARS) Komitesi tarafından geliştirilmiştir.

NIIRS'a duyulan ihtiyaç, görüntü ölçeği veya çözünürlük gibi basit fiziksel görüntü kalitesi ölçümlerinin görüntü yorumlanabilirliğini yeterince tahmin edememesinden kaynaklanmıştır. NIIRS, görüntü kalitesi yerine "istihbarat amaçlı bilgi potansiyeli" ifadesini kullanır. Bu nedenle NIIRS derecelendirmeleri, belirli bir görüntüden çıkarılabilecek bilginin kısa bir açıklaması olarak ifade edilebilir.

NIIRS, her seviyeyi oluşturan çeşitli yorumlama görevleri veya kriterleriyle birlikte 10 aşamalı seviyeden (0'dan 9'a kadar) oluşur. Bu kriterler, belirli bir yorumlanabilirlik düzeyinde bir görüntüden çıkarılabilecek bilgi miktarını gösterir. Örneğin, NIIRS 2 görüntüsüyle analistler büyük binaları tespit edebilmeli, NIIRS 6 görüntüsünde ise otomobilleri sedan veya station wagon model olarak tanımlayabilmelidir.

Bir görüntüye NIIRS derecesi atamak için, görüntü analistlerinden hangi görevleri yerine getirebileceklerini ve görüntülerde hangi özellikleri görebileceklerini değerlendirmeleri istenir. Ancak her görüntü NIIRS kriterlerinde belirtilen bütün öğeleri içermez. Kriterlerde belirtilen özellikler mevcut olmadığında, analist bu nesnelerin mevcut olduğunu hayal etmeli ve görüntüde hangi kriterlerin yerine getirilebileceği ve getirilemeyeceği konusunda bir tahminde bulunmalıdır. Başka bir deyişle, görüntü analisti, sanki görevleri yapmak için gereken bilgi veya ölçeğe dahil edilen özellikler görüntüde mevcutmuş gibi, hangi görevlerin yerine getirilebileceğini veya hangi özelliklerin bu kalitedeki bir görüntüde görülebileceğini değerlendirerek yorumlanabilirliği derecelendirir. Bu şekilde, görüntü analisti aslında neyin görüntülediği veya neyin görüntülenmediği hakkında değerlendirmelerde bulunmak yerine görüntüden elde edilebilecek bilgi potansiyelini değerlendirir.

### **3.7.2 Referanssız Görüntü Mekansal Kalite Değerlendirme Metriği (BRISQUE)**

Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator (BRISQUE) modeli ise görüntü özelliklerini hesaplamak için kullanılan yerel olarak normalleştirilmiş parlaklık katsayılarını kullanarak görüntü kalitesini ölçer. BRISQUE değeri sayısal değeri sıfıra yakın olan görüntünün kalitesi daha iyidir. Referanssız kalite değerlendirme algoritmaları yalnızca bir görüntünün bozulmuş bilgilerini alır ve kalitesi hakkında bir tahminde bulunur. Hesaplaması oldukça pratiktir ve Yapısal Benzerlik Oranı Metriği (SSIM) ne göre daha kullanışlıdır (Sandilya ve Nirmala 2018).

#### 4. UYGULAMA

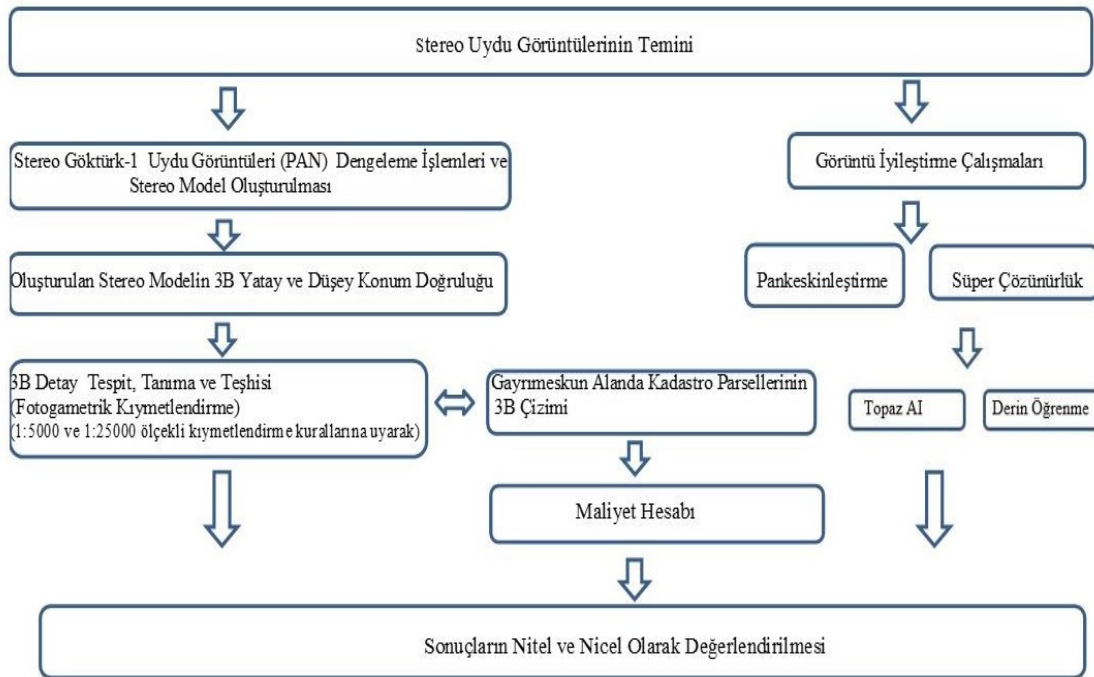
Bu tez çalışmasında stereo olarak çekilmiş 50 cm çözünürlüklü olan pankromatik Göktürk-1 uydu görüntüsünün dengeleme işlemlerinden sonra stereo model oluşturularak fotogrametrik iş istasyonunda üç boyutlu (3B) olarak 1/25000 ve 1/5000 ölçekte fotogrametrik kıymetlendirme haritası yapılmıştır. Aynı zamanda aynı çalışma bölgesinin 15 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğrafları ile üç boyutlu 1/5000 ölçekli fotogrametrik kıymetlendirme haritası da yapılmıştır. Daha sonra hem uydu görüntülerinden elde edilen 3B detayların hava fotoğrafını karşılama oranı karşılaştırılmış hem de uydu görüntüsünden oluşturulan stereo modelin yatay ve düşey konum doğruluğu incelenmiştir. Böylelikle stereo Göktürk-1 uydusu ile fotogrametrik kıymetlendirme haritası yapım amacıyla kullanılabilirliği test edilmiştir. Aynı zamanda Göktürk-1 stereo uydu görüntülerinin kadastro çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için stereo modelden gayrimeskûn alanda 3B kadastro parselleri çizilerek parsellerin Tapu Kadastro Genel Müdürlüğünde olan kayıtları ile hem alan yönünden hem de konum doğruluğu yönünden karşılaştırılmıştır. Ayrıca kadastro çalışmalarının yersel ölçümlerle ve uydu görüntüleri ile yapılması durumunda ortaya çıkabilecek maliyet durumu da karşılaştırılmıştır. Böylece ileriki zamanlarda ülkemizde yapılması beklenen gayrimeskûn alanda da 3B kadastro çalışmaları için Göktürk-1 uydusunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonrasında görüntü iyileştirme uygulamaları yapılmıştır.

Görüntü iyileştirme uygulamalarında ise 50 cm çözünürlüklü Pan ve 2 m çözünürlüklü MS Göktürk-1 uydu görüntüleri ile Pankeskinleştirme işlemi ve süper çözünürlük uygulaması yapılmıştır. Pankeskinleştirilmiş uydu görüntüsünde stereo modeli oluşturularak konumsal doğruluk yatay ve düşey olarak incelenmiş ayrıca pankeskinleştirilmiş görüntünün fotogrametrik kıymetlendirmeye etkisi yorumlanmıştır.

Süper çözünürlük uygulamasında ise pankeskinleştirilmiş uydu görüntülerine 1/5000 ölçekli bir haritanın kapsadığı bir alanda (yaklaşık 6 km<sup>2</sup>) derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük uygulaması yapılmış ve Göktürk-1 uydusunun hem süper çözünürlük performansı incelenmiş hem de süper çözünürlük uygulamasının fotogrametrik kıymetlendirmeye sağladığı katkı incelenmiştir. Süper çözünürlük uygulaması hem

Phtyon tabanlı EDSR modeli kullanılarak Tensorflow kütüphanesi ve hazır eğitilmiş DIV2K veri seti kullanılarak yapıldı hem de piyasada ulaşımı kolay olan paket yazılım ile yapılarak sonuçlar hem sayısal olarak hem de görsel olarak karşılaştırıldı.

Panskeskinleştirilmiş görüntü kullanılarak, EDSR ve TOPAZ AI ile iyileştirilen görüntüler National Image Interpretability Rating Scales (Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeğine) (NIIRS) göre görüntü yorumlama dereceleri incelendi ve görüntü kalite metrikleri Referanssız Görüntü Mekansal Kalite Değerlendirme Metriği (BRISQUE) değerleri ile karşılaştırılarak SR uygulamasının görüntü yorumlamaya etkisi ve görüntü kalitesi ile görüntü yorumlama derecesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan uygulamaya ait iş akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Uygulama iş akışı.

Sonuç olarak yapılan bütün bu çalışmalar ülkemizin sahip olduğu yüksek çözünürlüklü Göktürk-1 uydusuna hem ulusal hem de uluslararası alanda katma değer sağlayacak hem de bu konularda çalışan uygulayıcı ve araştırmacılara rehber olacaktır.

#### 4.1 Kullanılan Veri Setleri ve Yazılımlar

Bu çalışma da, L2A seviye 24.10.2019 tarihinde saat 07.48 tarihinde  $31^\circ$  geliş açısıyla yaklaşık yüzde 95 oranında bindirmeli stereo çekilmiş Göktürk-1 uydu görüntüleri, referans görüntüler olarak kullanılmak üzere 11.08.2020 tarihinde sayısal hava kamerası ile çekilmiş fotoğraf ölçeği 1/37 500 olan 15 cm yer örnekleme aralığına sahip stereo hava fotoğrafları kullanılmıştır. Yöneltilme işlemleri için uygun dağılımlı yer kontrol noktaları, stereo modelin düşey doğruluğunun kontrolü için Türkiye Jeoidi-20 (TG20) çalışmaları kapsamında ölçümü hassas olarak yapılarak üretilmiş gravite noktaları kullanılmıştır. Stereo model oluşturmak için Inpho Match-T yazılımı kullanılmış, stereo kıymetlendirme işlemleri DAT/EM Summit Evolution programında fotogrametrik iş istasyonunda yapılmıştır. Detayların karşılaştırılması için ArcGIS yazılımı ile Global Mapper programı, Pankeskinleştirme işlemi PCI GXL yazılımı, süper çözünürlük uygulaması için Python yazılım dili ve paket yazılım olarak da Topaz Gigapixel AI yazılım kullanılmıştır. Görüntü kalite metrik hesabı için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. SR uygulaması yapılan görüntülerden ortogörüntü üretmek için AgiSoft yazılımı kullanılmıştır. Kadastro uygulamasında parsel karşılaştırmaları için NetCAD programı kullanılmıştır.

Sayılan veri setlerinden uydu görüntüleri ve sayısal hava fotoğrafları ile yer kontrol noktaları Harita Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

#### 4.2 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Çalışma bölgesi olarak Ankara'nın kuzey bölgesinde ortalama yüksekliği 1135 m olan yer şekli bakımından orta engebeli ve hafif dağlık alan içerisinde ilçe merkezleri, köy yerleşim alanları olan alan seçilmiştir. Uydu görüntüsünün kapsadığı alan  $373 \text{ km}^2$ 'dir. Alan 4 adet 1/25000 ölçekli fotogrametrik haritanın kapladığı alanın içine girmektedir. Seçilen alan fotogrametrik kıymetlendirme haritasında olan detay çeşitliliği bakımından yeterlidir. Çalışma alanının genel görüntüsü (Şekil 4.2) de ve 1/5000 ölçekli kıymetlendirme yapılan alanın görüntüsü (Şekil 4.3) de gösterilmiştir.



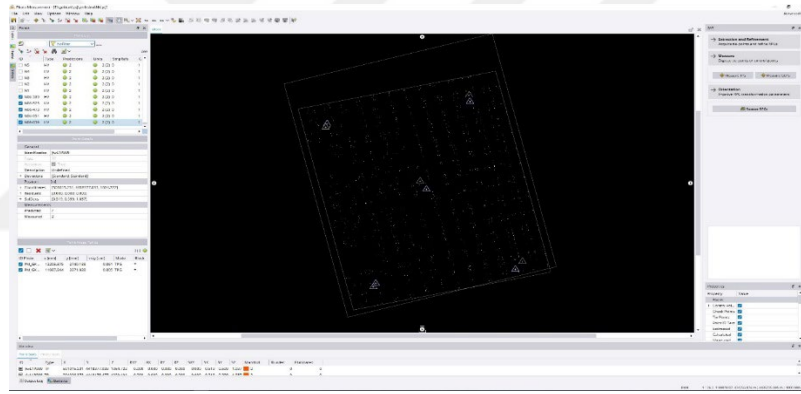
**Şekil 4.2** Çalışma alanının genel görüntüsü (Alan 373 km<sup>2</sup> dir Mavi çizgiler 1/25 000 ölçekli pafta alanlarını göstermektedir).



**Şekil 4.3** Çalışma alanında 1/5000 ölçekli fotogrametrik harita yapmak için seçilen alan.

### 4.3 Uydu Görüntüsü Yönelme İşlemleri

Göktürk-1 uydusu yönelme işlemleri için Göktürk-1 uydu modeli tanımlı yazılım bulunduran Inpho Match-T programı kullanılmış ve uydu görüntüsü ile birlikte verilen xml uzantılı uydu yörünge parametreleri bilgilerini içeren dosya programa tanıtılarak otomatik iç yönelmesi yapılmıştır. Daha sonra alana uygun dağılmış 5 adet yer kontrol noktaları (YKN) ile dengeleme yapılmış ve stereo Göktürk-1 uydu görüntüleri ile 3B model oluşturulmuştur (Şekil 4.4 ve 4.5). İç yönelmeden sonra stereo görüntüde ortak nokta eşleme ile dengeleme işlemleri hem 15 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğraflarından elde edilen 3B fotogrametrik nirengi noktaları ile hem de yersel ölçmelerle yapılmış yer kontrol noktaları ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların birbirleri ile tutarlı olduğu görülmüştür.



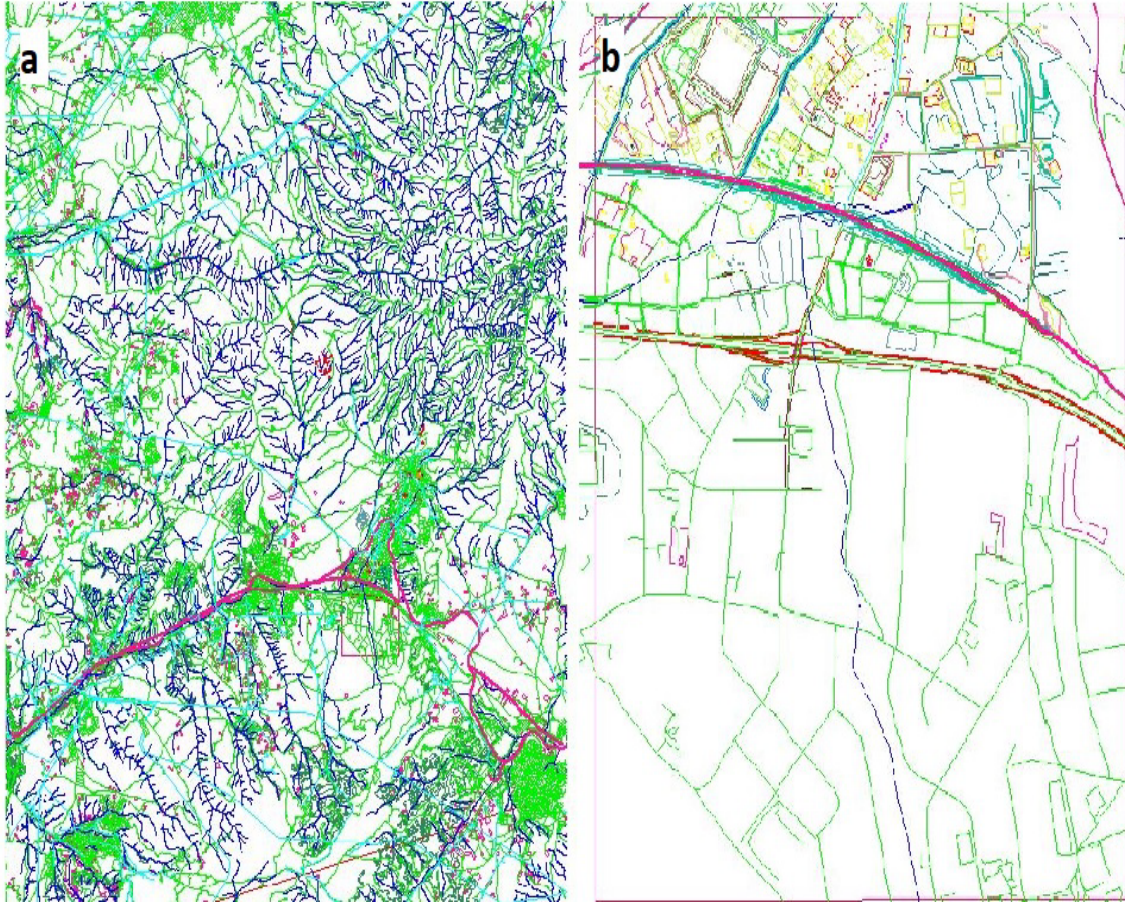
Şekil 4.4 Uydu görüntüleri yönelme işlemleri için kullanılan program arayüzü ve YKN ile bağlama noktalarının dağılımı.



Şekil 4.5 YKN ile uydu görüntüsünü iç yönelme sonrası dengeleme işlemi.

#### 4.4 Fotogrametrik Kıymetlendirme

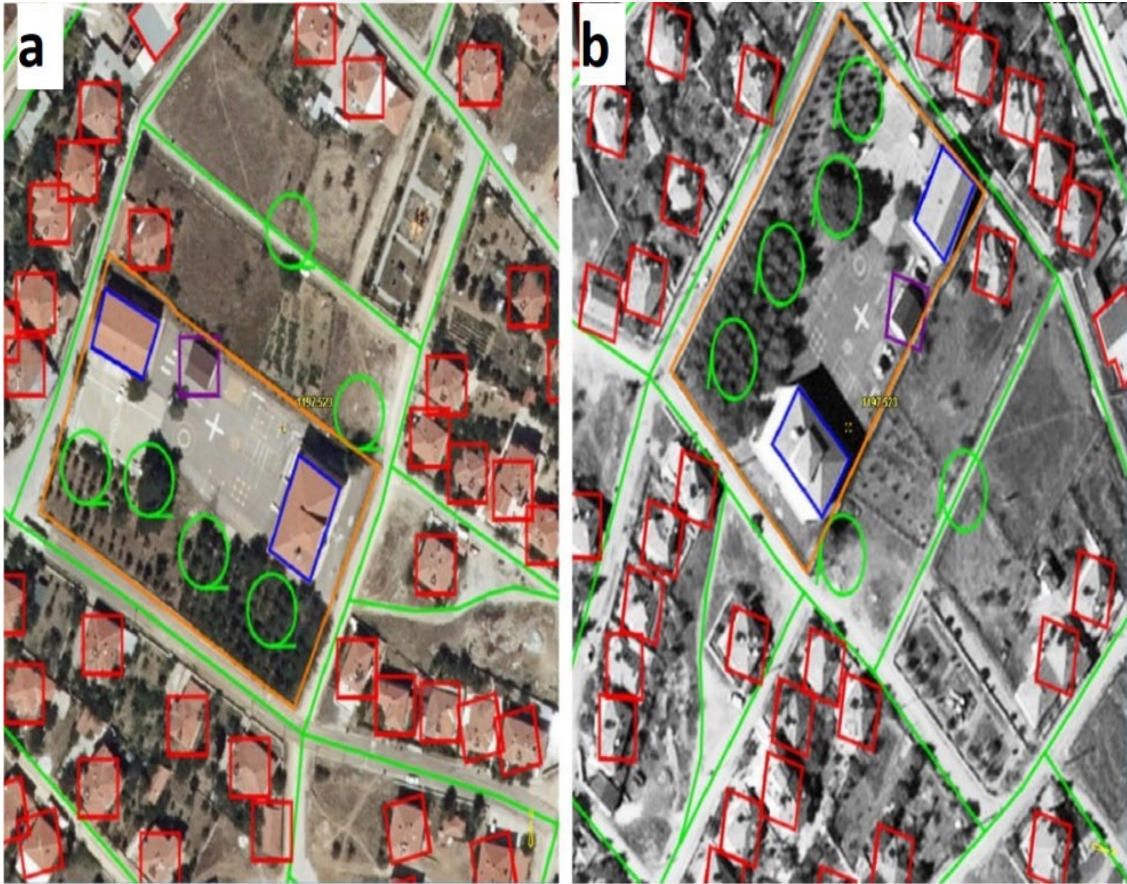
Fotogrametrik iş istasyonunda 50 cm çözünürlüklü pankromatik Göktürk-1 stereo uydu görüntülerinin ve referans olarak kullanılmak için 15 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğraflarının hem 1/25000 ölçekli ve 1/5000 ölçekli kıymetlendirme kurallarına göre fotogrametrik haritası yapılmış sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kıymetlendirme haritaları (Şekil 4.6) da gösterilmiştir.



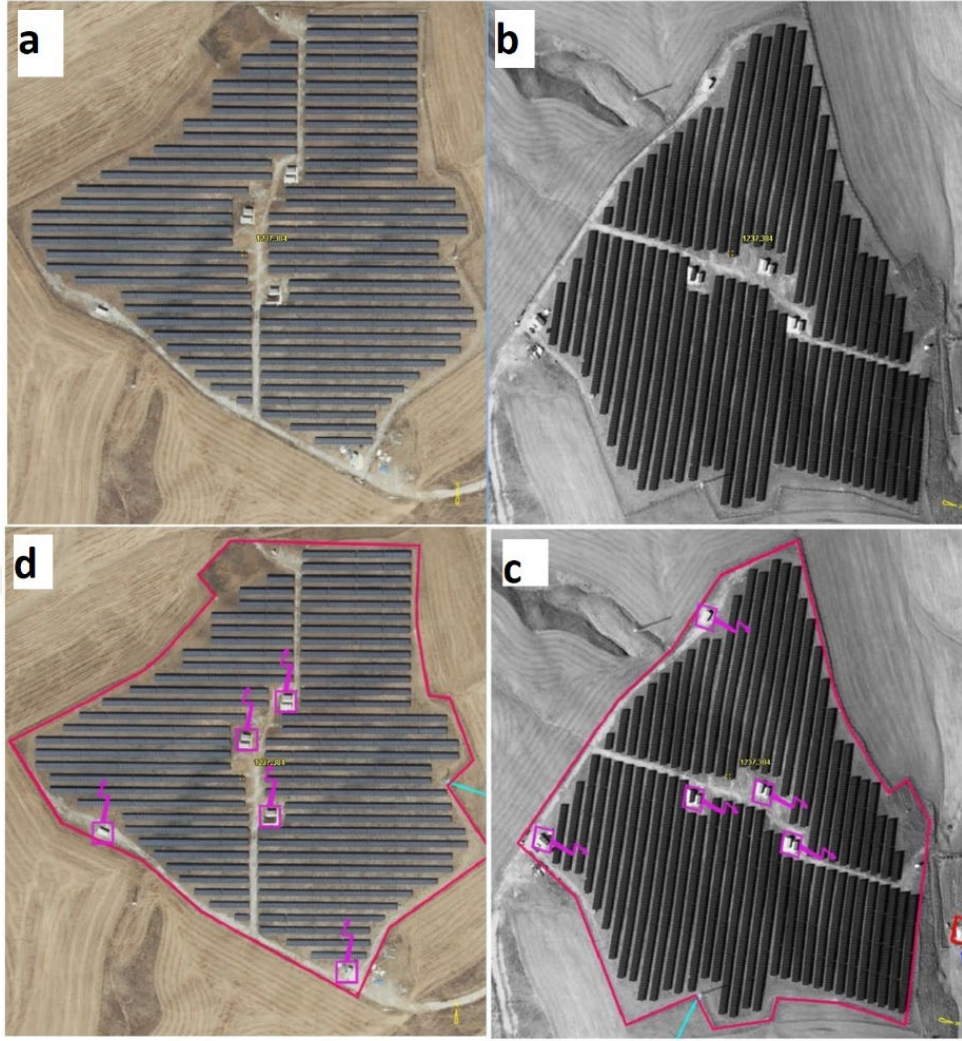
**Şekil 4.6** 1/25000 ölçekli kıymetlendirme haritası (a), 1/5000 ölçekli kıymetlendirme haritası (b).

Hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinden sayısal fotogrametrik harita yapmak için öncelikle kıymetlendirme yapma eğitimi alan operatörün görüntü üzerindeki detayları tespit, tanıma ve teşhis edebilmesi gerekir. Detay tespiti, görüntülerde bulunan detayların tanınmadan keşfedilebilmesidir. Örnek olarak görüntü üzerinde bir hat vardır. Detay tanıma ise görüntülerde bulunan detayların kimliğinin bir grup içerisinde belirlenmesini ifade eder. Örneğin, bu hat bir iletim hattıdır. Detay teşhisi ise görüntüdeki detayın

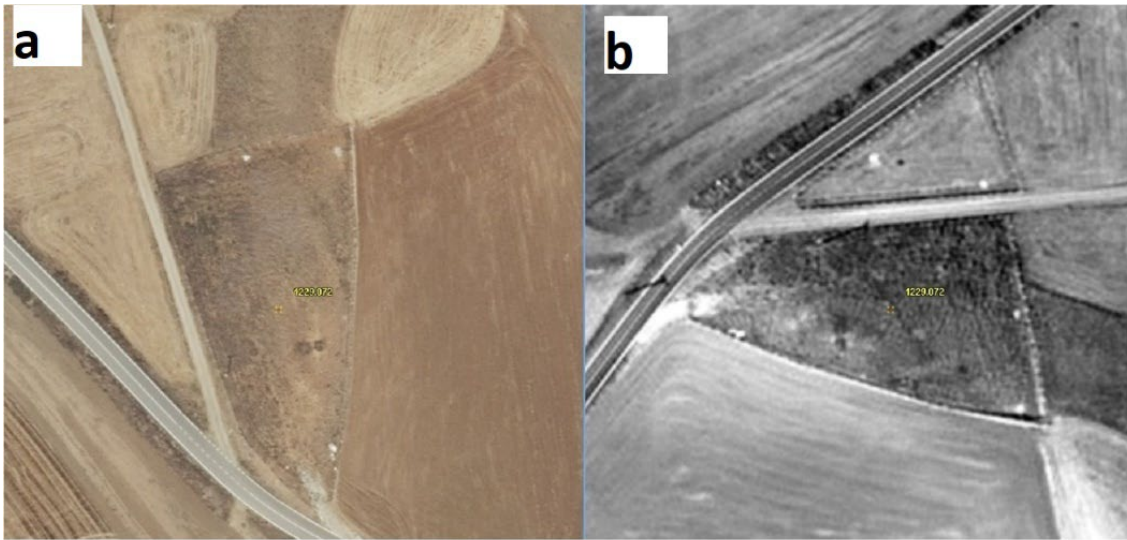
kimliğinin spesifik şekilde belirlenmesidir. Örneğin bu iletim hattı bir elektrik iletim hattıdır. Görüntü üzerindeki detayların tek tek tespit, tanıma ve teşhis edilebilirliği araştırılmıştır. Bu analizler; evet (edilir), hayır (edilemez) ve belki (bazı durumlarda edilebilir) şeklinde yapılarak Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çizelge 1/25000 ve 1/5000 ölçekli haritada bulunması gereken detaylara göre hazırlanmıştır. Aşağıdaki görsellerde 1/25000 ölçekli ve 1/5000 ölçekli pafta bazında kıymetlendirilen örnekler karışık şekilde gösterilmiştir. Detaylar alan, çizgi, nokta kategorilerine göre kıymetlendirilmiştir. Şekil 4.7a ve 4.7b’de uydu görüntüsü ve hava fotoğrafının genel olarak görüntüsü verilmiş ve 1/25000 kıymetlendirme kuralına göre binalara bina sembolü atılarak gösterilmiştir. Görüntüler stereo 3B ortamda kıymetlendirilmiştir ve görsel ifade için 2B ortamda aktarıldığı için detaylarda görüldüğü gibi üst üste binmeler görülebilir.



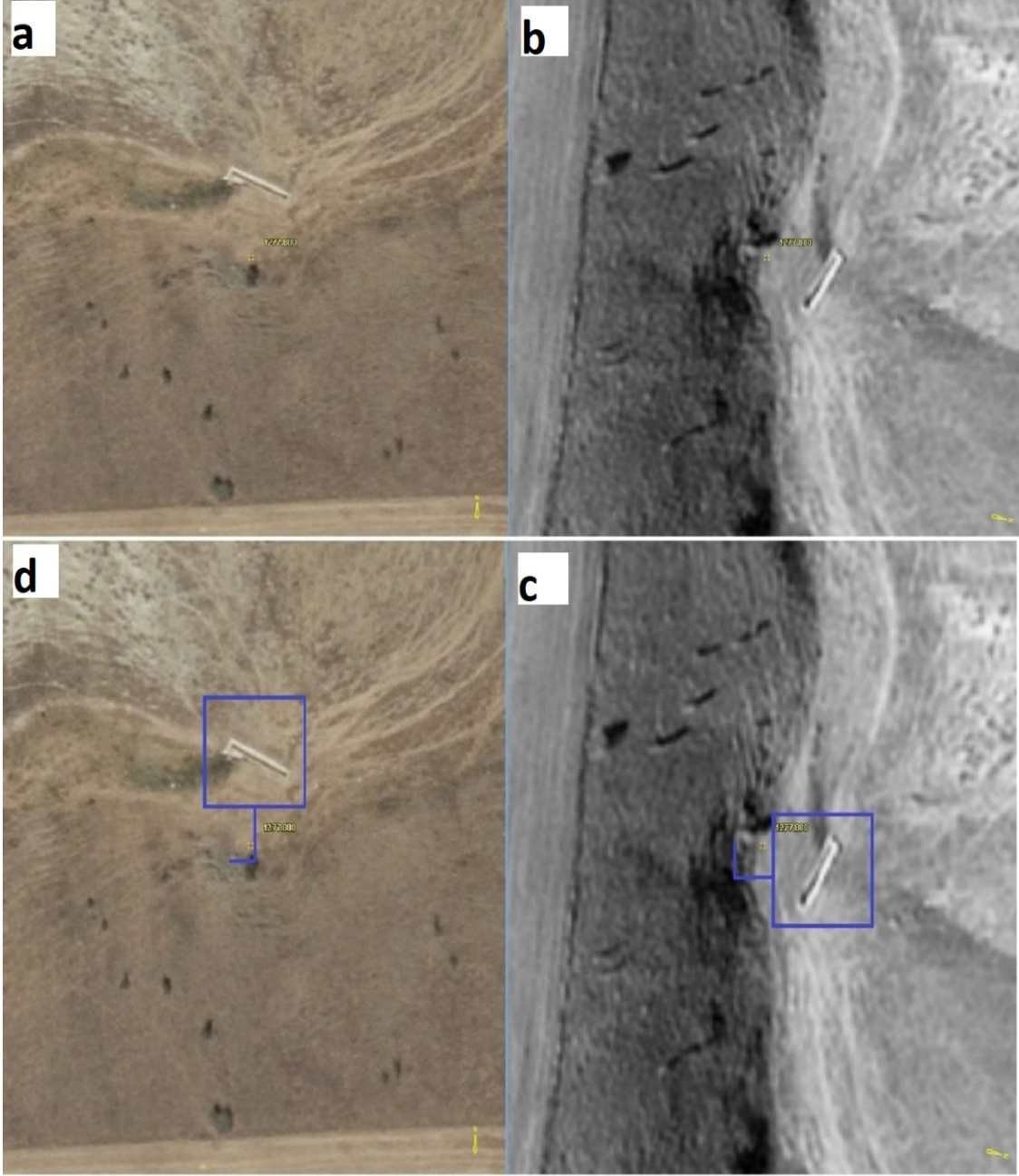
Şekil 4.7 (a) Hava fotoğrafı ve (b) Göktürk-1 uydu görüntüsü.



Şekil 4.8 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

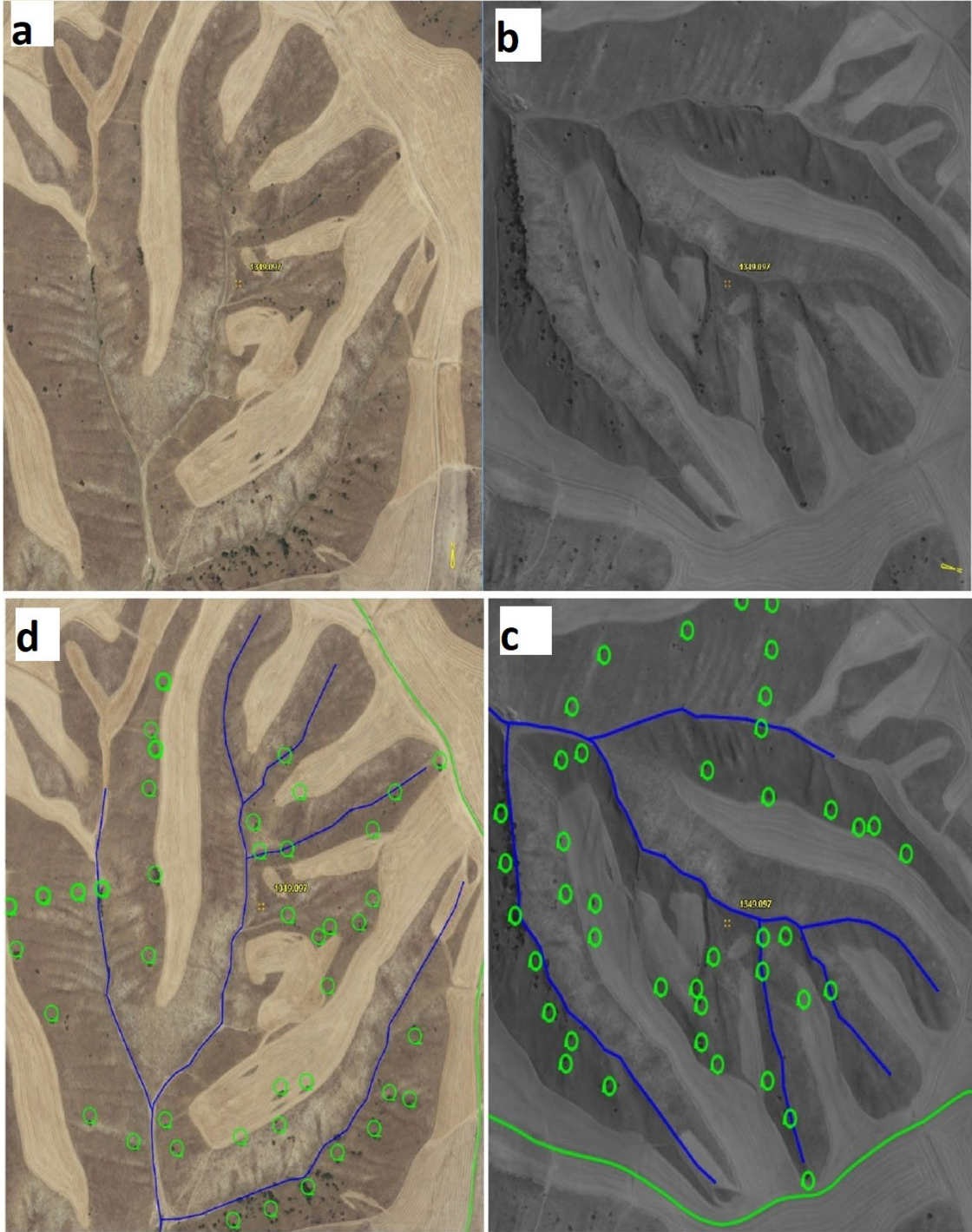


Şekil 4.9 (a) Hava fotoğrafı ve (b) Göktürk-1 uydu görüntüsü.



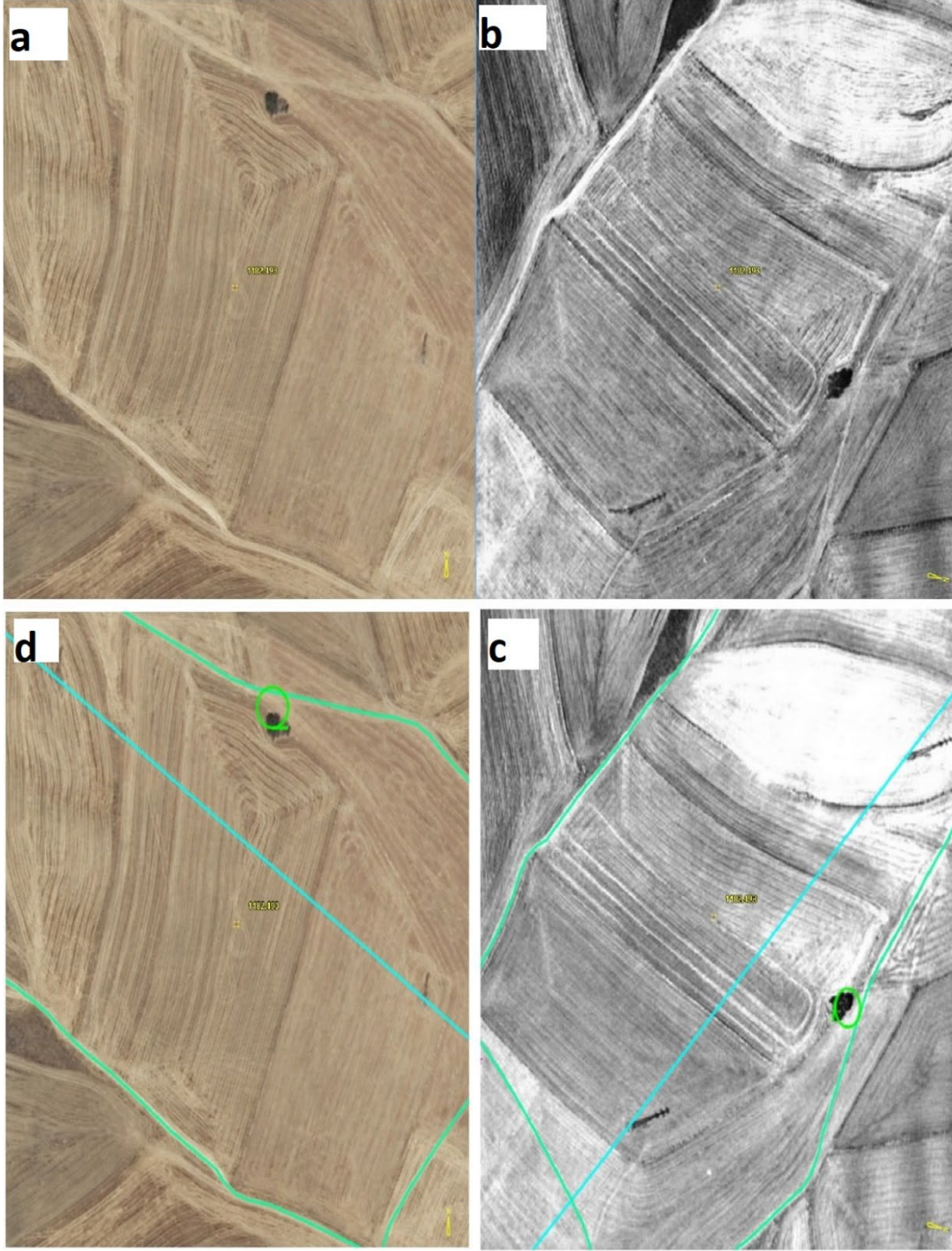
**Şekil 4.10** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.8c’de enerji santralin içindeki jeneratörler ile Şekil 4.9b’de çit detayları ve Şekil 4.10’da çeşme detayları rahatlıkla tespit edilebilir.



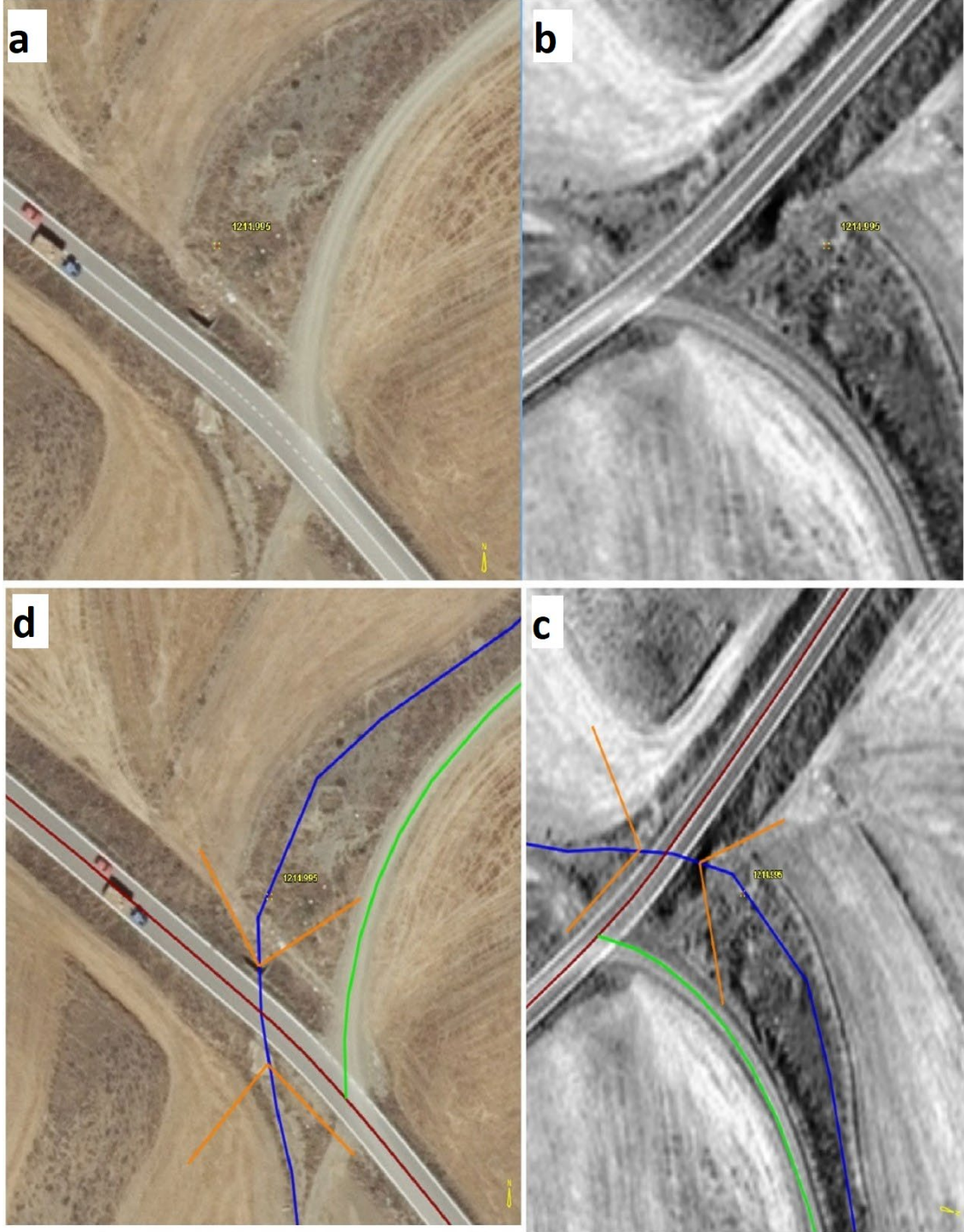
**Şekil 4.11** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.11c’de dere yataklarının rahatlıkla kuru veya sulu dere olarak ayırt edilerek kıymetlendirilmesi yapılabilir.



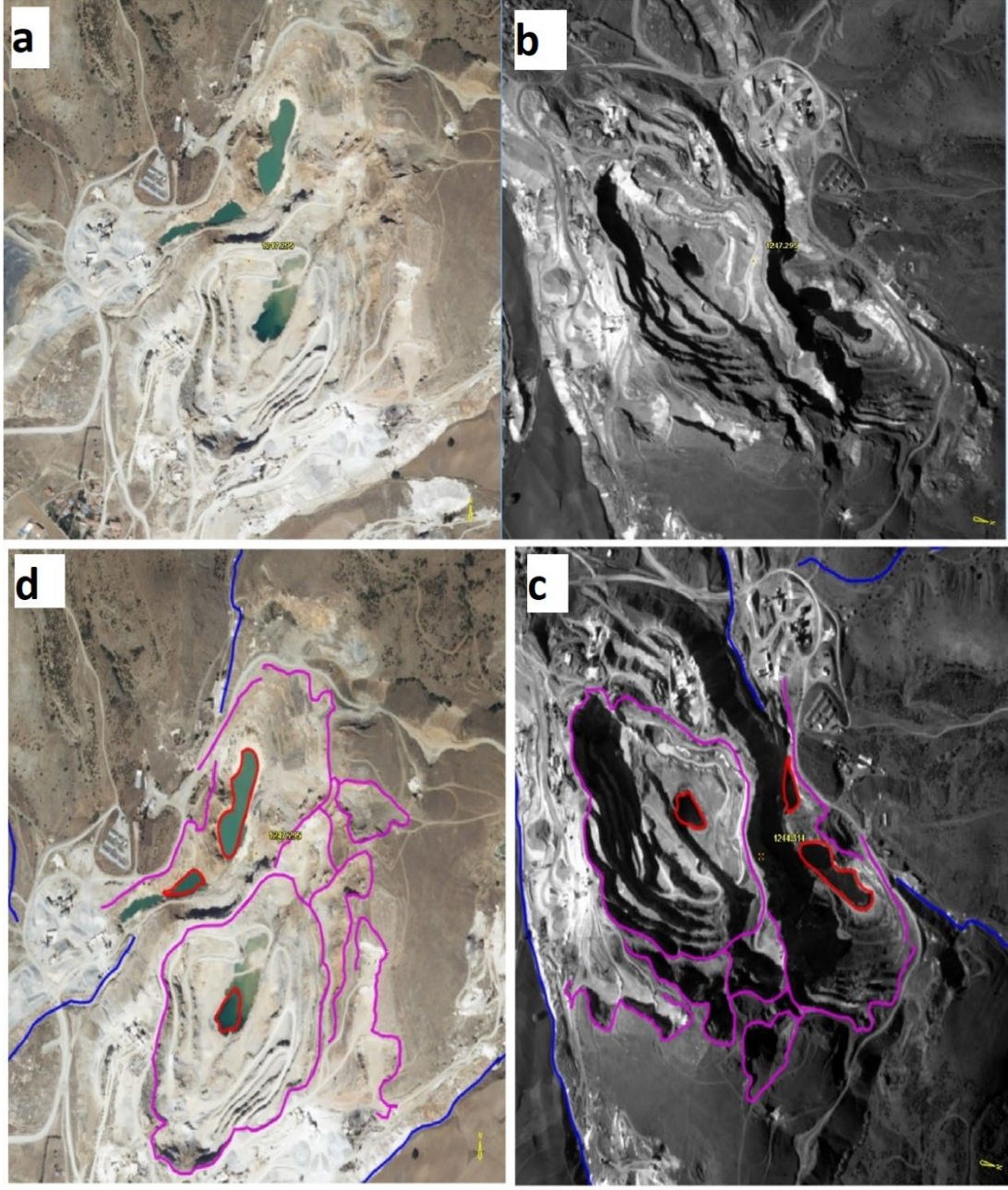
**Şekil 4.12** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.12c’de görüldüğü üzere uydu görüntüsü üzerinden elektrik iletim hatlarının tanımak ve teşhis etmek zorlaşabilir. Bu biraz kıymetlendirme operatörünün tecrübesine göre değişebilir ancak genellikle operatöre yardımcı kaynak gerekebilir.

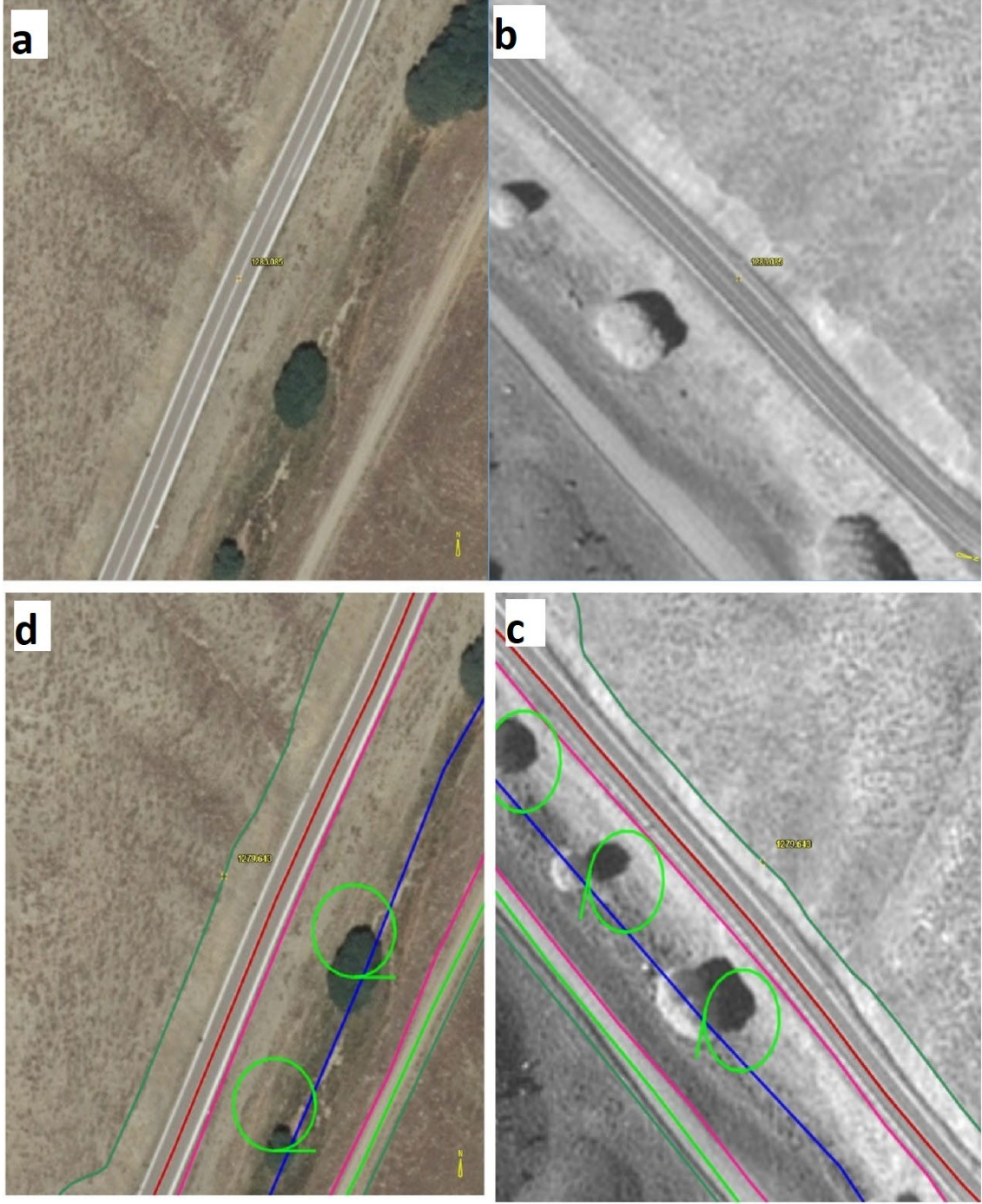


Şekil 4.13 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.13c’de menfez detayı rahatlıkla teşhis edilip tanınabilmektedir.

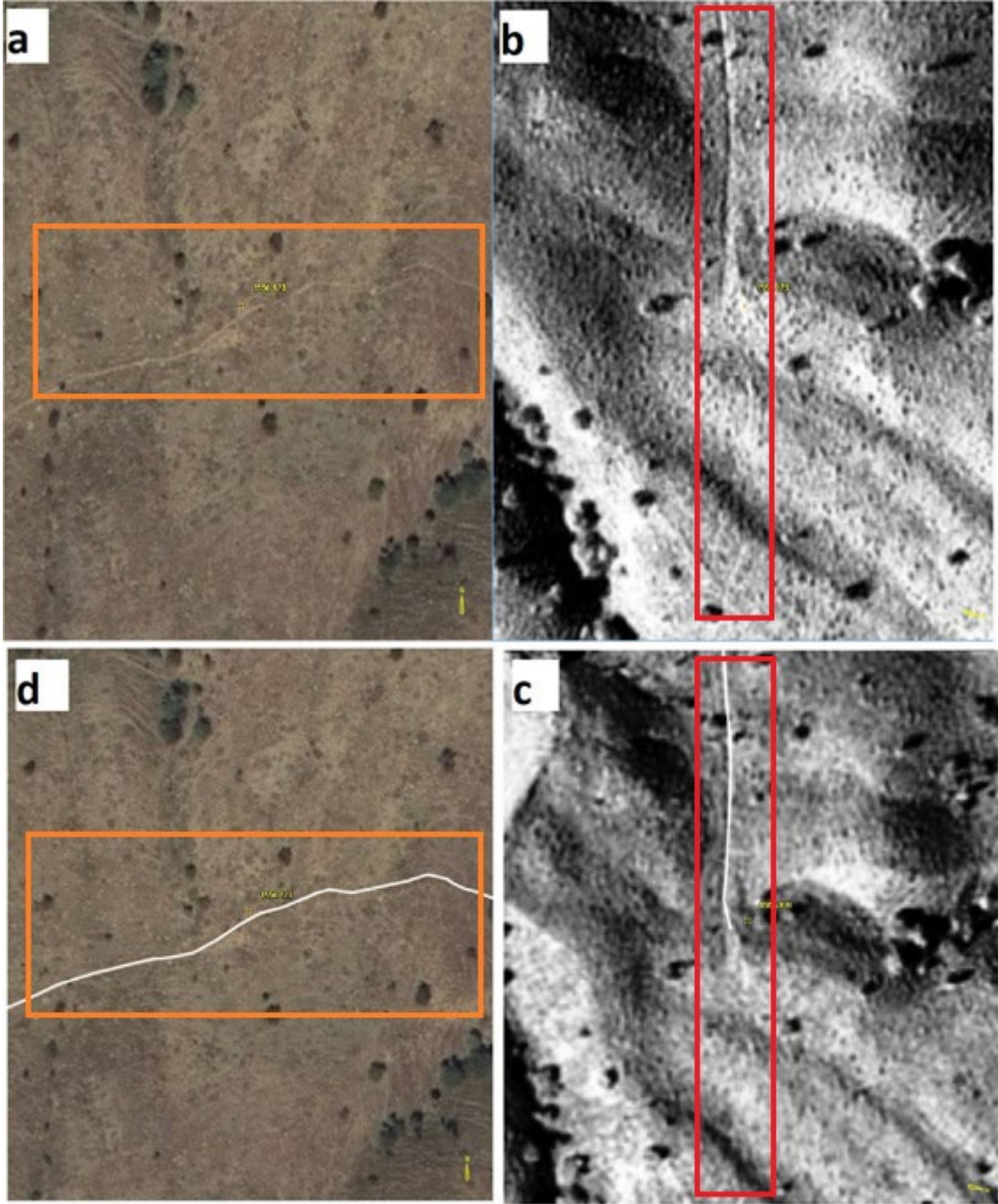


Şekil 4.14 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.



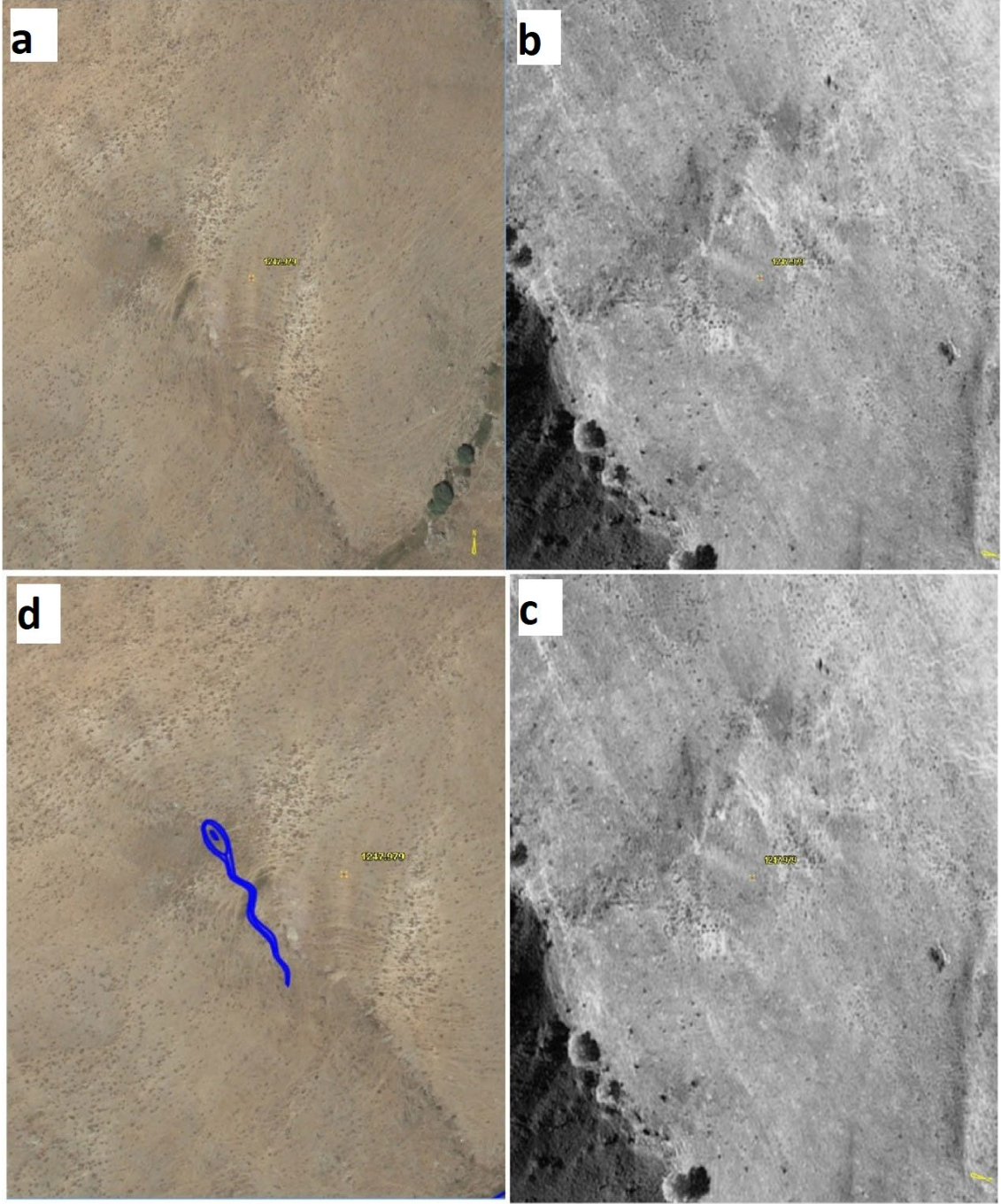
**Şekil 4.15** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.14c’de toprak kazıntı sınırları rahatlıkla belirlenebilmektedir. Şekil 4.15c’de yarma ve dolgular görüntü üzerinde tanınıp teşhis edilebilir ve sınır hatları net olarak değerlendirilip çizilebilir.



**Şekil 4.16** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.16b ve Şekil 4.16c’de kırmızı alanla gösterilmiş dar patikalar uydu görüntüsünden üzerinden tam olarak teşhis edilememektedir. Bu duruma Pan görüntüdeki kontrast da etkili olabilir. Ancak genellikle yardımcı kaynak veya arazi kontrolü gerekebilir.

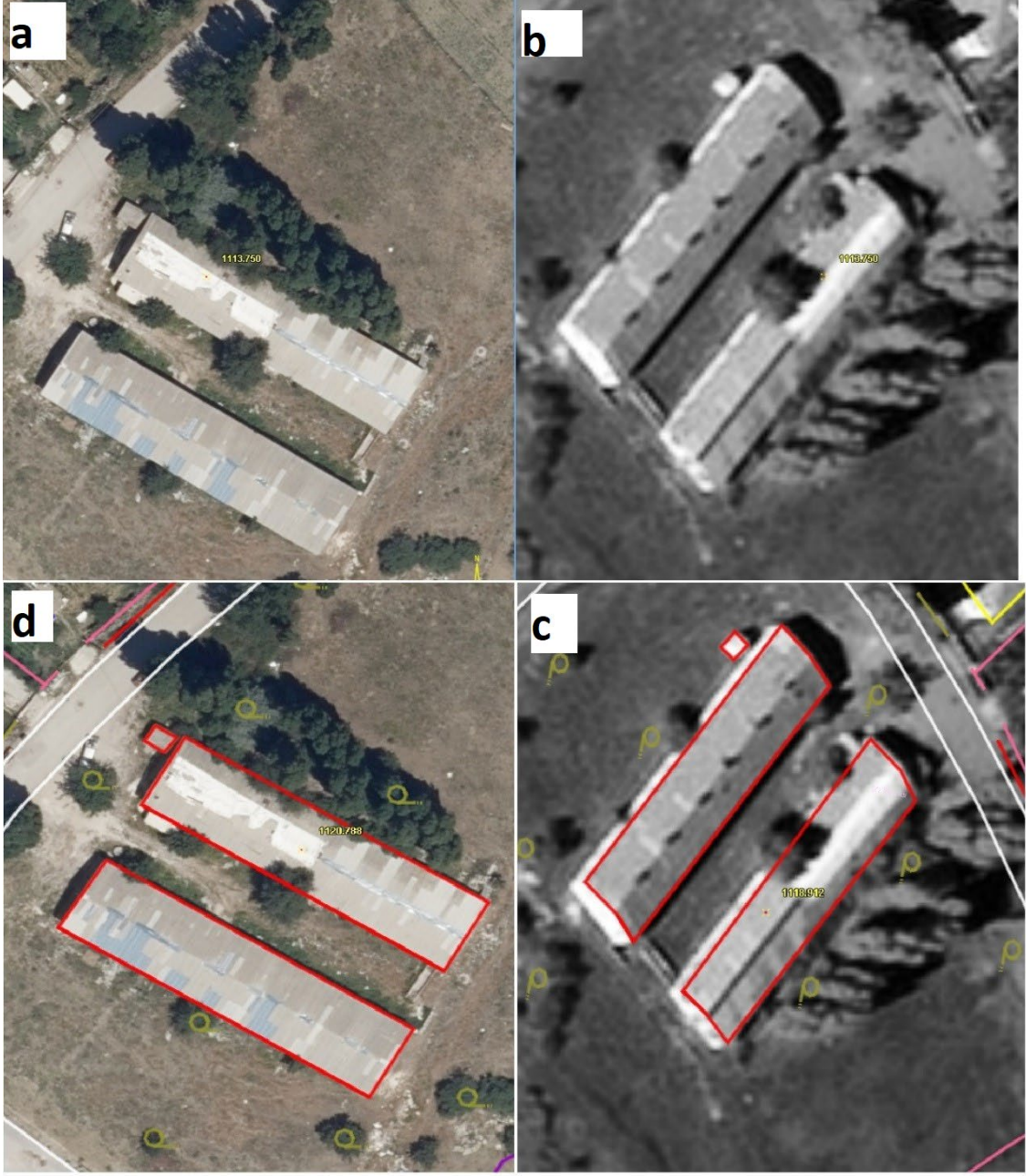


**Şekil 4.17** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü

Şekil 4.17b’de pınar gibi detayların uydu görüntüsü üzerinden tespit, tanıma ve teşhisi yapılamamaktadır. Ancak yardımcı kaynak olursa sadece tespit edebilme imkânı olabilir.



Şekil 4.18 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.



**Şekil 4.19** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.18c’de duvar sınır hatları ve sundurmalar rahatlıkla tanınıp teşhis edilebilmektedir. Şekil 4.19c’de bina çatı kenar sınır hatları rahatlıkla çizilebilmektedir.



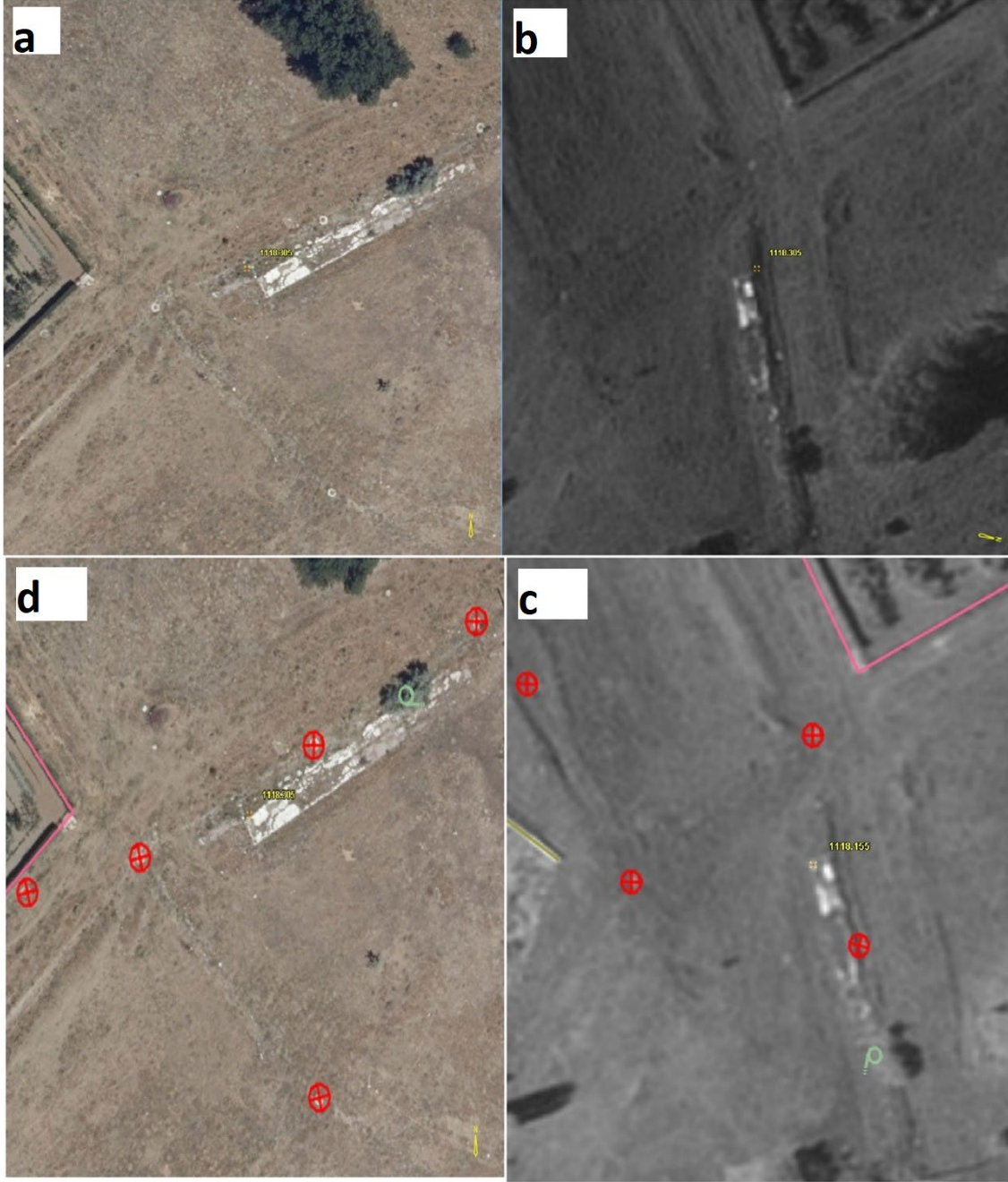
**Şekil 4.20** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.20c’de uydu görüntüsü üzerinden 1/5000 ölçekli fotogrametrik kıymetlendirme için önemli olan yarma dolgu sınırları ve yol sınırları rahatlıkla çizilebilmektedir. Ancak aydınlatma direklerinin tespiti bazen mümkün olmayabilir.



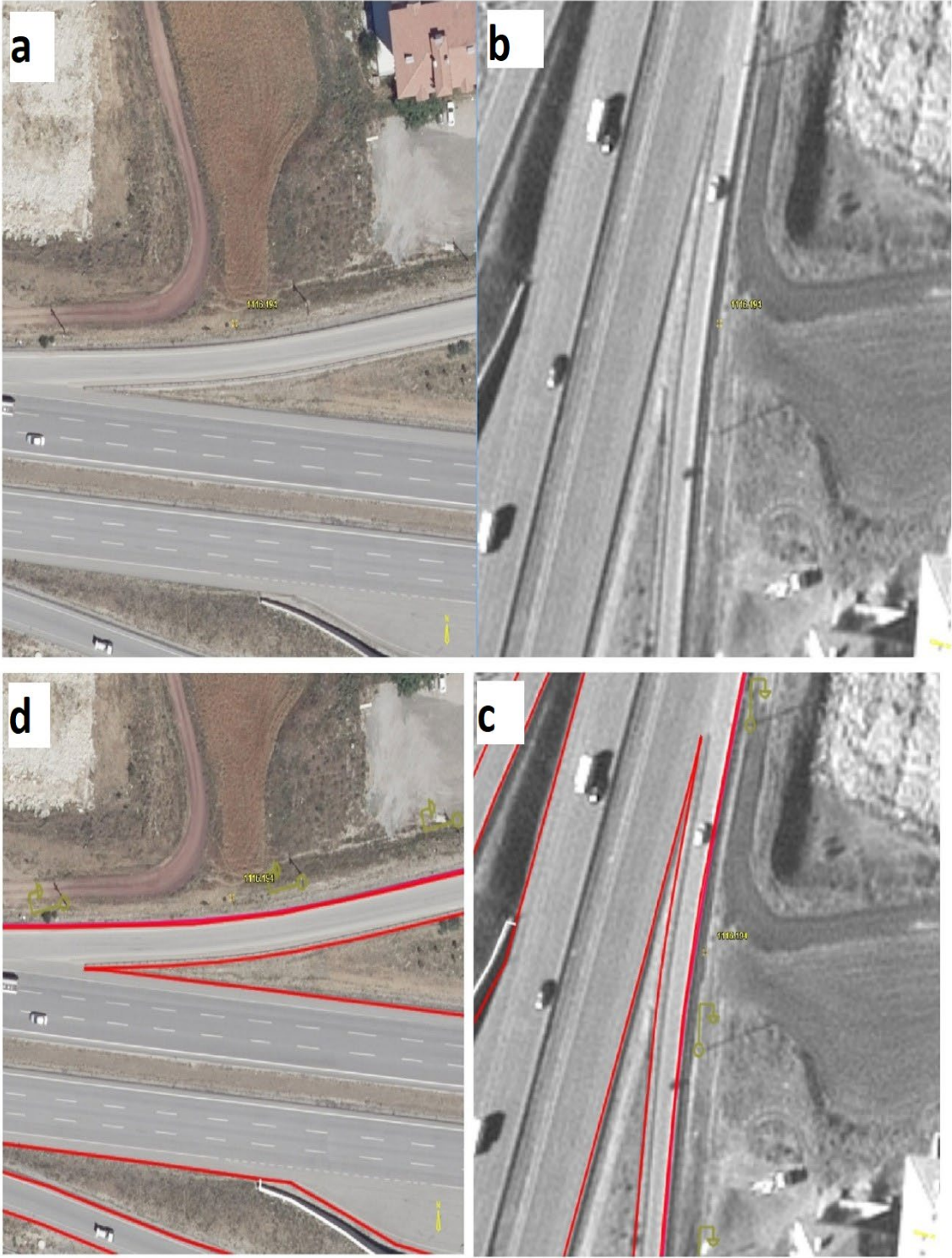
**Şekil 4.21** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.21c’de belli büyüklükte reklam panoları gibi detaylar rahatlıkla tanınıp teşhis edilebilir.



**Şekil 4.22** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.22c’de rögar gibi detaylar görüntü üzerinden genellikle tespit edilebilir ancak tanınması için yardımcı kaynak gerekebilir.



**Şekil 4.23** (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.



Şekil 4.24 (a,d) Hava fotoğrafı ve (b,c) Göktürk-1 uydu görüntüsü.

Şekil 4.24c’de yol sınırları, Şekil 4.23c’de otoban kenar sınırları ile korkulukları tespit edilebilir.

**Çizelge 4.1** Kıymetlendirilen Detayların Tespit, Tanıma ve Teşhis Edilebilirliği.

| Kategori                        | Detaylar                        | Notlar                                                                                         | Ölçek   |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 |                                 |                                                                                                | 1/25000 |        |        | 1/5000 |        |        |
|                                 |                                 |                                                                                                | Tespit  | Tanuma | Teşhis | Tespit | Tanuma | Teşhis |
| Ulaşım                          | Otoyol-Ekpres yol               |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Karayolu                        |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Gevşek yüzeyli yol              |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Patika Yol                      | Operatör tecrübesine göre dar patika yolların teşhisi zorlaşabilir.Arazi kontrolü gerekebilir. | E       | E      | E      | E      | B      | B      |
|                                 | Yapılmakta olan yol             |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Deniz Limanı                    |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Hava Limanı                     |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Demiryolu                       | Demiryol hattı açıkça görülür fakat sinyal direkleri görülemeyebilir.                          | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Köprü                           |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Menfez                          |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
| Yerleşim Yerleri                | Viyadük                         |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Kaldırım                        | Bazı durumlarda farkedilmesi zorlaşabilir.                                                     |         |        |        | B      | B      | B      |
|                                 | Yerleşim Alanı                  |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Bina                            | Nokta ve alan binalar kolaylıkla görülebilir.                                                  | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Park                            |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Dini Yapılar                    | Yapılar rahatlıkla görülür fakat sınıflandırma için yardımcı kaynak gerekebilir.               | E       | E      | B      | E      | E      | B      |
|                                 | Ticaret ve Sanayi Tesisleri     |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Mezarlık Alanı                  |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Orman                           |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Tek Ağaç veya çalı              |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
| Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı | Meyvelik, Bağlık, Zeytinlik vb. | Ekili dikili alanlar kolaylıkla tespit edilebilir fakat sınıflandırma zorlaşabilir             | E       | E      | B      | E      | E      | B      |
|                                 | Ağaçlandırma sahası             |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Maden veya Taş Ocağı            |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Toprak kazıntı                  |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Dere                            |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Kanalet                         |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Ark                             |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Göl, gölet, Irmak vb.           |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Çeşme                           | Çok küçük çeşmeleri teşhis etmek zor olabilir                                                  | E       | E      | E      | E      | B      | B      |
|                                 | Havuz                           |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | B      | B      |
| Su Kaynakları                   | Bataklık                        |                                                                                                | E       | E      | E      | E      | E      | E      |
|                                 | Pınar                           |                                                                                                | H       | H      | H      | H      | H      | H      |

E=Evet, H=Hayır, B=Belki.

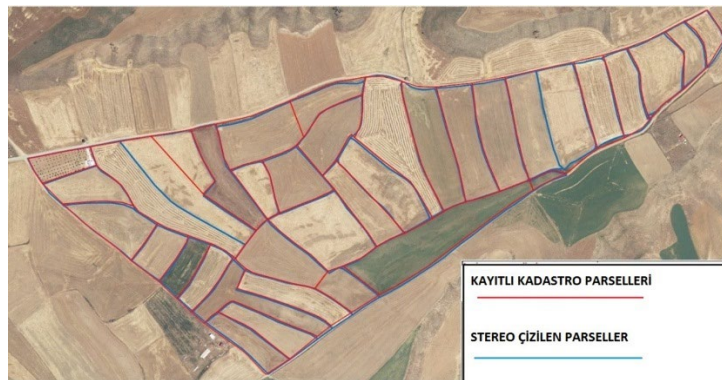
**Çizelge 4.1(Devam) Kıymetlendirilen Detayların Tespit, Tanıma ve Teşhis Edilebilirliği.**

|                       |                      |                                                                      |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Sınırlar              | Duvar                |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Çit                  |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
| Diğer Arazi Detayları | Parsel sınırları     |                                                                      |   |   |   | E | E | E |
|                       | Dolma                |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Yarma                |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Toprak set           |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Hendek               |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Enerji Nakil Hatları | Şehir içi ( 1kV-34.5 kV) elektrik direklerinin tespiti zor olabilir. | B | B | B | B | B | B |
|                       | Telefon Hatları      | Yardımcı kaynak/Arazi kontrolü gerekebilir.                          | B | B | B | B | B | B |
|                       | Reklam Panoları      | Yardımcı kaynak/Arazi kontrolü gerekebilir.                          | B | B | B | B | B | B |
|                       | Enerji Tesisleri     |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Trafolar             |                                                                      | E | E | E | E | E | E |
|                       | Rögar                | Yardımcı kaynak/Arazi kontrolü gerekebilir.                          |   |   |   | B | B | H |
|                       | Anten                | Yardımcı kaynak/Arazi kontrolü gerekebilir.                          | B | B | B | B | B | B |

E=Evet, H=Hayır, B=Belki.

#### 4.5 Göktürk-1 Stereo Uydu Görüntülerinin Kadastro Çalışmalarında Kullanılabilirliği

Tez kapsamında stereo uydu görüntülerinden üretilen 1/5000 ölçekli fotogrametrik kıymetlendirme haritasında 3B çizilen parsellerin kadastro çalışmalarında altlık olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda bir kadastro adasında bulunan parseller stereo uydu görüntüsü üzerinden 3B olarak fotogrametrik iş istasyonunda arazideki mevcut sınırlar üzerinden çizilmiş sonrasında ise parsellerin Tapu Kadastro kayıtlarında olan güncel durumu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.25).



**Şekil 4.25** Stereo çizilen parseller. (Çizilen parsellerin Tapu kayıtlarındaki parseller ile birlikte gösterilmesi amacıyla görsellik sağlaması bakımından ortofoto üzerinde gösterilmiştir).

Uydu görüntüsü üzerinden ada bazında çizilen parsellerin hem yanılma sınırı (alan tecvizi) içinde kalıp kalmadığına hem de parsel merkezleri bulunarak çizilen parseller ile tapu sistemine tescillenmiş parseller arasındaki kayıklığa bakılmıştır. Ayrıca uydu görüntüleri kullanarak çalışma maliyeti ile yersel ölçmeler yapılması durumunda ortaya çıkacak maliyet durumu da karşılaştırılmıştır.

Parsellerin yanılma sınırı Parsellerin 27.09.2022 tarih 31966 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan “Tapu Planlarında Yanılma Sınırının Belirlenmesi Hakkındaki Yönetmelik” hükümleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Bu yönetmeliğe göre parsel yanılma sınırları geçici ve arşiv onaylı (kesin) koordinatlı parsellere göre farklı yaklaşımla yapılmaktadır. Burada arşiv onaylı koordinat; ilk tesis, güncelleme ve sayısallaştırma kadastro çalışmalarında ya da bu çalışmalardan sonra yapılan toplulaştırma, imar uygulamaları ve ifraz gibi işlemler ile doğrudan koordinatlı üretilen parselleri ifade etmektedir. Geçici koordinatlı parseller ise köşe noktaları doğrudan koordinatlı (ITRF96, ED50, LOKAL) olarak üretilmemiş; prizmatik, takeometrik veya fotogrametrik üretim yöntemi ile oluşturulmuş parsellerdir. Bu çalışmada geçici koordinatlı parsel tanımına göre işlem yapılmıştır. Bu işlem Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından “cbs.tkgm.gov.tr” web adresinde yayınlanan ve NetCAD programında çalıştırılan makro yardımı ile yapılabilir. Parsellerin kırık noktalarına çap büyüklüğü Şekil 4.26’da verilen çizelgedeki katsayılar değerinde çemberler çizilir ve bu çemberlerin iç teğet ve dış teğet noktalardan geçen alanlar ile iç alan ile dış alan oluşturulur (Şekil 4.27) ve alanı hesaplanır. Eğer çizilen parselin alanı hesaplanan iç ve dış alanın içerisinde kalırsa kabul edilebilir değerdedir (Eşitlik 4.1). Çizilen parseller için hesaplanan değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{İç yanılma sınırı} &< \text{Kayıtlı Parselin yüzölçümü} < \text{Dış yanılma sınırı} \\ \text{İç yanılma sınırı} &= \text{minimum}(F)_i \\ & i=1:400^n \\ \text{Dış yanılma sınırı} &= \text{maksimum}(F)_i \\ & i=1:400^n \end{aligned} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1 ‘de

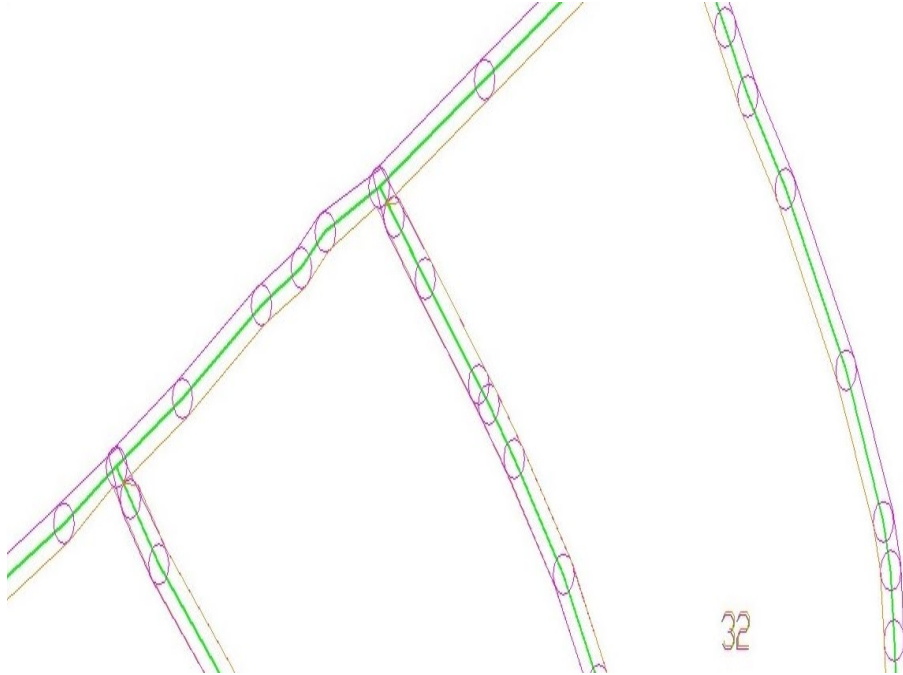
$F$  = Gauss alan hesabını,

$n$  = Parselin köşe nokta sayısını,

İfade eder.

| Ölçek/Üretim Yöntemi | Prizmatik             |                                              | Takeometrik                                           |       |                                              | Fotogrametrik | Sayısal Fotogrametrik | Fotoplan | Sayısal |
|----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------|---------------|-----------------------|----------|---------|
|                      | Ölçü Değerlerine Göre | Paftadan Okunarak Elde Edilen Değerlere Göre | Ölçü Değerlerine Göre                                 |       | Paftadan Okunarak Elde Edilen Değerlere Göre |               |                       |          |         |
|                      |                       |                                              | U<100<br>(Noktanın ölçüldüğü poligona yatay uzaklığı) | U>100 |                                              |               |                       |          |         |
| 200                  | 0.21                  | 0.21                                         | 0.5                                                   | 1     | 1                                            |               |                       |          | 0.09    |
| 250                  | 0.21                  | 0.22                                         | 0.5                                                   | 1     | 1                                            |               |                       |          | 0.09    |
| 500                  | 0.21                  | 0.25                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.01                                         |               |                       |          | 0.09    |
| 1000                 | 0.21                  | 0.35                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.04                                         |               | 0.09                  |          | 0.09    |
| 2000                 | 0.21                  | 0.6                                          | 0.5                                                   | 1     | 1.15                                         | 0.6           | 0.15                  | 0.65     | 0.09    |
| 2500                 | 0.21                  | 0.74                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.22                                         | 0.75          | 0.15                  | 0.8      | 0.09    |
| 3000                 | 0.21                  | 1.11                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.31                                         | 0.9           | 0.20                  | 0.95     | 0.09    |
| 4000                 | 0.21                  | 1.28                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.51                                         | 1.2           | 0.25                  | 1.35     | 0.09    |
| 5000                 | 0.21                  | 1.43                                         | 0.5                                                   | 1     | 1.73                                         | 1.5           | 0.30                  | 1.75     | 0.09    |
| 10000                | 0.21                  | 2.01                                         | 0.5                                                   | 1     | 3                                            | 3             | 0.40                  | 3.5      | 0.09    |

Şekil 4.26 Geçici koordinatlı parsel tanımına göre yapılacak hesaplamalarda kullanılacak üretim yöntemine göre belirlenmiş nokta konum doğrulukları.



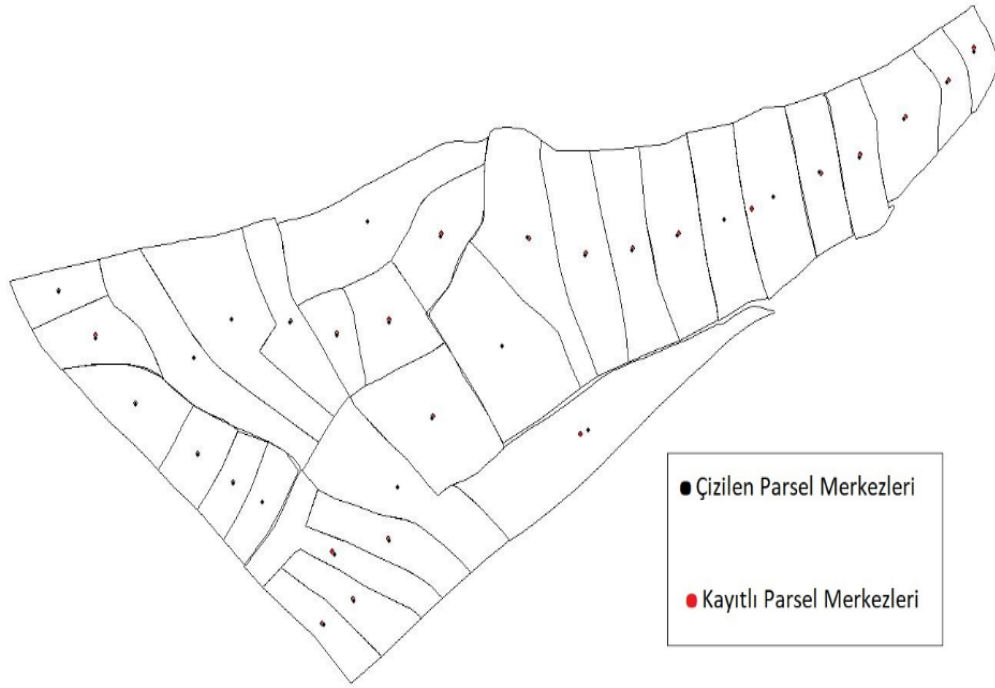
Şekil 4.27 Parsellerin iç alanı ve dış alanları (yeşil çizgiler orijinal alanı, çemberin iç teğetleri iç alanları, dış teğetler ise dış alanları gösterir.)

**Çizelge 4.2** Parsellerin hesaplanan iç ve dış alanları.

| Parsel No | İç Alan  | Parsel Alan | Dış alan |
|-----------|----------|-------------|----------|
| 1         | 4910,09  | 5127,96     | 5201,59  |
| 2         | 7307,76  | 7650,1      | 8524,95  |
| 3         | 9397,44  | 10126,16    | 11426,23 |
| 4         | 5077,98  | 6260,89     | 6330,34  |
| 5         | 4546,58  | 5200,57     | 5396,23  |
| 6         | 4628,21  | 5676,27     | 5789,25  |
| 7         | 9658,25  | 10595,05    | 11614,75 |
| 8         | 5655,75  | 6800,92     | 6817,39  |
| 9         | 6845,14  | 7254,04     | 7330,45  |
| 10        | 7958,17  | 8589,56     | 8875,31  |
| 11        | 10904,24 | 11920,09    | 12110,94 |
| 12        | 4993,47  | 5573,52     | 5810,63  |
| 13        | 28921,46 | 29248,15    | 29874,14 |
| 14        | 6117,79  | 6241,9      | 6421,85  |
| 15        | 9957,21  | 10071,98    | 10965,24 |
| 16        | 13090,23 | 13035,07    | 14248,35 |
| 17        | 4985,74  | 5062,22     | 5135,44  |
| 18        | 9487,25  | 9544,78     | 9865,21  |
| 19        | 5985,75  | 6356,52     | 6974,45  |
| 20        | 9024,96  | 9723,77     | 10010,23 |
| 21        | 15987,45 | 16916,33    | 17105,12 |
| 22        | 7854,35  | 8424,29     | 8700,16  |
| 23        | 13100,87 | 13402,43    | 14287,11 |
| 24        | 16875,12 | 17682,94    | 18236,14 |
| 25        | 13678,35 | 14959,6     | 15107,52 |
| 26        | 12554,34 | 13274,31    | 14076,35 |
| 27        | 12486,34 | 13659,57    | 14104,47 |
| 28        | 25683,45 | 26621,52    | 27140,36 |
| 29        | 9045,35  | 9523,25     | 10068,25 |
| 30        | 8146,15  | 8293,8      | 8900,74  |
| 31        | 9397,44  | 10744,74    | 11426,23 |
| 32        | 3982,42  | 4780,59     | 5134,65  |
| 33        | 20478,23 | 22435,73    | 21487,34 |

Çizelge 4.2 de verilen değerlere bakıldığında sadece 33 nolu parselde yanılma sınırının dışına çıkıldığı görülmüştür. Bu durum parselin komşu parsellere sınır ihlali yaptığından dolayı kaynaklanmaktadır.

Parsellerin alanlarının yanılma sınırı içerisinde kalıp kalmadığı değerlendirildikten sonra konum doğruluğu için parsellerin merkezleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.28). Bunun için çizilen parsellerin ve kayıtlı parsellerin merkezleri bulunarak aralarındaki konum farkı için Karesel Ortalama Hatası hesaplanmıştır. Buna göre 33 parselin merkezleri arasındaki kayıklık en az 0.53 m en fazla ise 4.59 m'dir. Karesel ortalama hatası (KOH) ise 1.60 m'dir.



**Şekil 4.28** Parsel merkezleri.

Sonuç olarak uydu görüntüsü üzerinden çizilen parsellerin alanları ve geometrileri kayıtlı parseller ile tutarlıdır. Ancak kadastro çalışmalarında yersel ölçmeler yerine uydu görüntüleri kullanmak için sadece doğruluk kriter olmamalı, maliyet etkeni de göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemiz daha önceden yüksek çözünürlüklü bir uyduya sahip olmadığı için hem maliyet hem de görüntülerin temininde sıkıntılar yaşanmaktaydı. Ancak Türkiye'nin komutasında olan Göktürk-1 uydusu sayesinde bu sorunlar aşılabılır. Bu kapsamda kadastro çalışmalarında uydu görüntüsü kullanılması ile yersel ölçümler yöntemiyle yapılması durumunda ortaya çıkan maliyet hesaplanmıştır. Proje alanı yaklaşık 60 km<sup>2</sup> büyüklüğündedir. Detay alımı yöntemiyle yapılan hesapta araç, gereç ve personelin bir günlük günde sekiz saat çalışması durumundaki maliyeti çıkarılmıştır. Uydu görüntüsü ile yapılan yöntemde ise proje süresi boyunca proje alanını kapsayan stereo uydu görüntüsü fiyatı, dengeleme ve kıymetlendirme maliyetini ifade etmektedir (Çizelge 4.3). Hesapta kullanılan birim fiyatlar İller Bankası 2024 yılı sayısal halihazır harita alım işleri birim fiyatları kılavuzundan alınmıştır (İnt. Kyn. 3). Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri fiyatları ise IMPRO Uydu Görüntü İşleme ve Telekomünikasyon şirketinden alınmıştır.

**Çizelge 4.3** Kadastro çalışmasında yersel ölçmeler ile Uydu görüntüleri arasındaki maliyet

| Yersel Ölçmeler Durumunda                        | Birim           | Birim Fiyat (TL/Euro) | Maliyet (TL)        | Açıklama           |
|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| GPS(4 alıcılı)                                   | sa              | 796,91                | 765.033,6           | 4 adet 240 saat    |
| BİLGİSAYAR(Taşınabilir)                          | sa              | 105,26                | 252.62,4            | 1 adet 240 saat    |
| HARİTA MÜH                                       | sa              | 249                   | 59.760              | 1 adet 240 saat    |
| HARİTA TEK                                       | sa              | 203                   | 194.880             | 4 adet 240 saat    |
| OTO                                              | sa              | 102,1                 | 24.504              | 1 adet 240 saat    |
| <b>ÇİZİMİŞLERİ</b>                               |                 |                       |                     |                    |
| HARİTA MUH                                       | sa              | 249                   | 59.760              | 1 adet 240 saat    |
| HARİTA TEK                                       | sa              | 203                   | 6.496               | 4 adet 240 saat    |
| BİLGİSAYAR(Sabit)                                | sa              | 35,08                 | 33.676,8            | 4 adet 240 saat    |
| ÇİZİM ÜNİTESİ                                    | sa              | 280,52                | 67.324,8            | 1 adet 240 saat    |
| <b>TOPLAM</b>                                    |                 |                       | <b>1.236.697,60</b> |                    |
| <b>Uydu Görüntüsü Kullanılması Durumunda</b>     |                 |                       |                     |                    |
| Stereo Uydu görüntüsü (Güncel çekim)             | km <sup>2</sup> | 16 (Euro)             |                     |                    |
| Stereo Uydu görüntüsü (arşiv)                    | km <sup>2</sup> | 9,50 (Euro)           | 15.652,2            | 60 km <sup>2</sup> |
| Fotogrametrik Nirengi Noktası                    | adet            | 2.270,67 (TL)         | 9.082,68            | 4 adet             |
| Kıymetlendirme                                   | pafta           | 5.920,59 (TL)         | 59.205,9            | 10 pafta           |
| Fotogrametrik Kıymetlendirme Programı ve Sistemi | sa              | 121,35 (TL)           | 1.4562              | 1 adet 120 saat    |
| Harita Müh.                                      | sa              | 249                   | 29.880              | 1 adet 120 saat    |
| Harita Tek                                       | sa              | 203                   | 24.360              | 1 adet 120 saat    |
| Oto                                              | sa              | 102,1                 | 12.252              | 1 adet 120 saat    |
| <b>TOPLAM</b>                                    |                 |                       | <b>164.994,78</b>   |                    |

1 Euro = 27,46 TL (Haziran 2024).

60 km<sup>2</sup>'lik alanda 1/5000 ölçek için;

Yersel ölçmeler kullanılması durumunda oluşan maliyet 1.236.697,60 TL dir.

1 km<sup>2</sup>'lik alan için oluşan maliyet 20.611,63 TL dir.

Uydu görüntüleri kullanılması durumunda oluşan maliyet 164.994,78 TL dir.

1 km<sup>2</sup> için oluşan maliyet 2.749,913 TL dir.

Çizelge 4.3'e göre kadastro çalışmalarında yersel ölçmeler yerine uydu görüntüsü kullanılması hem maliyet hem de zaman açısından daha avantajlıdır.

Fotogrametrik harita yapılırken çizim operatörüne katkılarını incelemek, harita üretim sürecine etkilerini araştırmak için görüntü iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda uydu görüntülerine pankeskinleştirme uygulaması ile süper çözünürlük

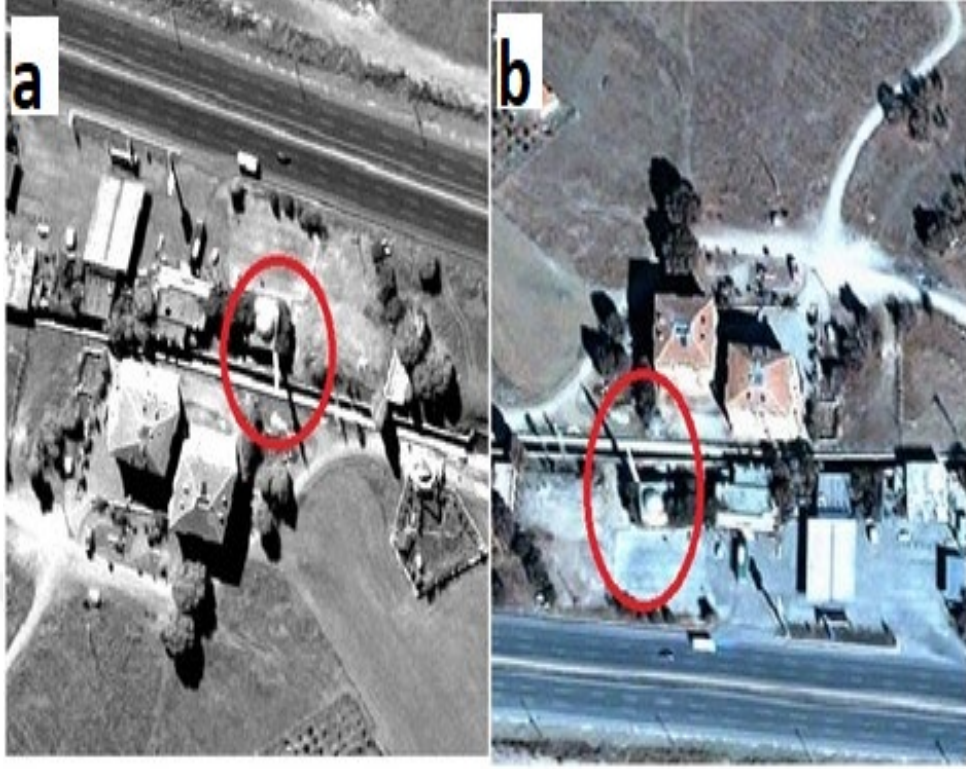
uygulamaları yapılmıştır. Süper çözünürlük uygulaması derin öğrenme yöntemleri ve paket yazılım ile yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

#### 4.6 Pankeskinleştirme Uygulaması

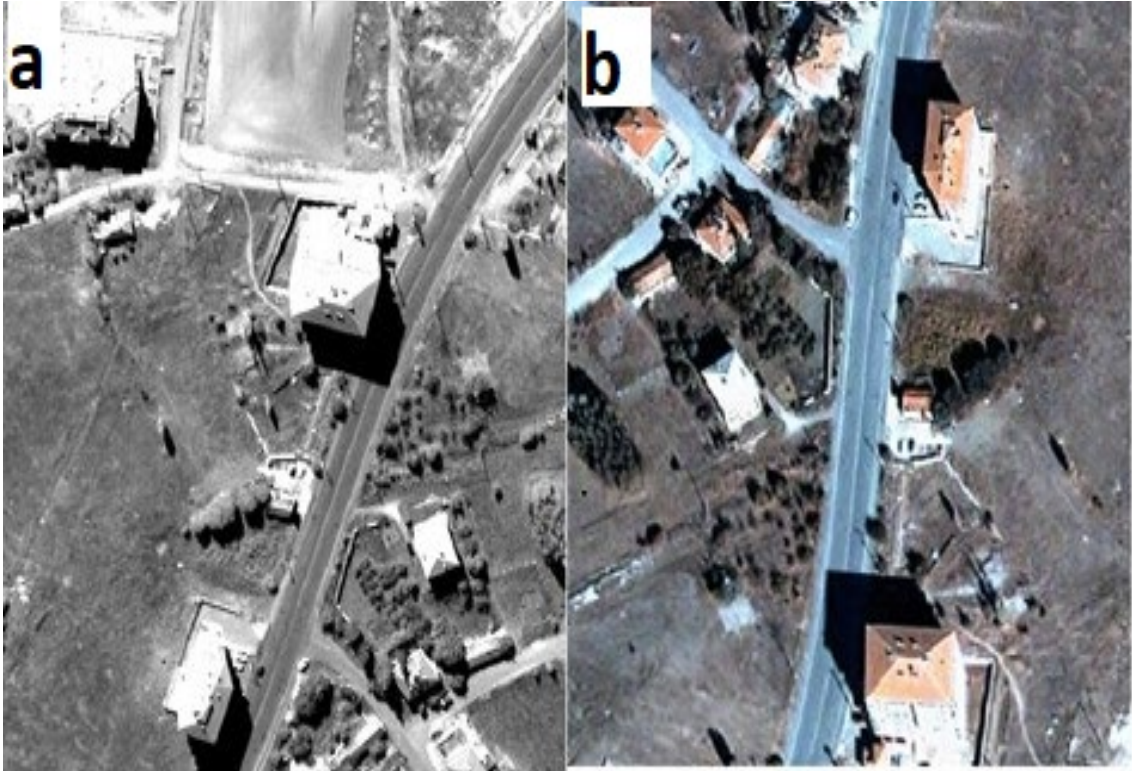
Pankromatik 50 cm çözünürlüklü görüntüler ile 2 m çözünürlüklü Multispektral görüntüler kullanılarak PCI GXL yazılımında Pankeskinleştirme uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.29). PCI GXL yazılımı pankeskinleştirme uygulamasını UNB algoritması kullanarak IHS yöntemiyle yapmaktadır.



**Şekil 4.29** Pankeskinleştirilmiş görüntü.



Şekil 4.30 (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü.



Şekil 4.31 (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü.



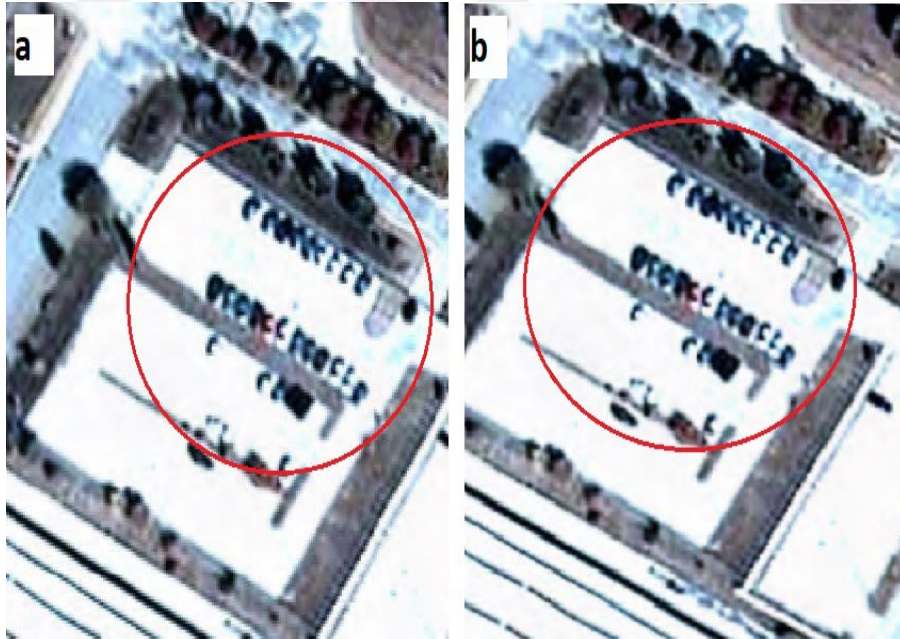
**Şekil 4.32** (a) Pankromatik görüntü, (b) Pankeskinleştirilmiş görüntü.

Pankeskinleştirme işlemi öncelikle detaylardan minare, aydınlatma direkleri gibi nokta detayların seçilebilirliğini arttırmaktadır. İkinci bir yararı ise kıymetlendirme operatörüne renkli yüksek çözünürlüklü görüntü sağladığı için pankromatik görüntüye göre daha rahat çizim imkânı sağlar. Yukarıdaki Şekil 4.30a’da cami minaresi 3B pankromatik görüntüde siyah beyaz görüntüden dolayı kıymetlendirme operatörü tarafından fark edilmeyebilir. Ancak Pankeskinleştirilmiş görüntüde minare detayı daha rahat görülebilir (Şekil 4.30b). Şekil 4.31a’da pankromatik görüntüde yol sınırlarının renk farkından ayırt edilmesi zorlaşabilir. Şekil 4.31b’da bina kenarları pankeskinleştirilmiş görüntüde daha rahat çizilebilir. Şekil 4.32b’de bitişik binaların olduğu alanlarda operatör pankeskinleştirilmiş görüntüde göz yorulması olmadan daha rahat çizim yapabilir. Pankeskinleştirilmiş görüntüden oluşturulan 3B stereo modelin ise yatay ve düşey konum doğruluğu pankromatik görüntülerden elde edilen 3B model ile yakın olduğu dolayısıyla konum doğruluğu üzerinde bir değişikliğe etki etmediği görülmüştür. Ancak bazı spektral değişiklikler süper çözünürlük uygulamasında performansı etkileyecektir. Konum doğruluğu sonuçları bulgular kısmında verilmiştir.

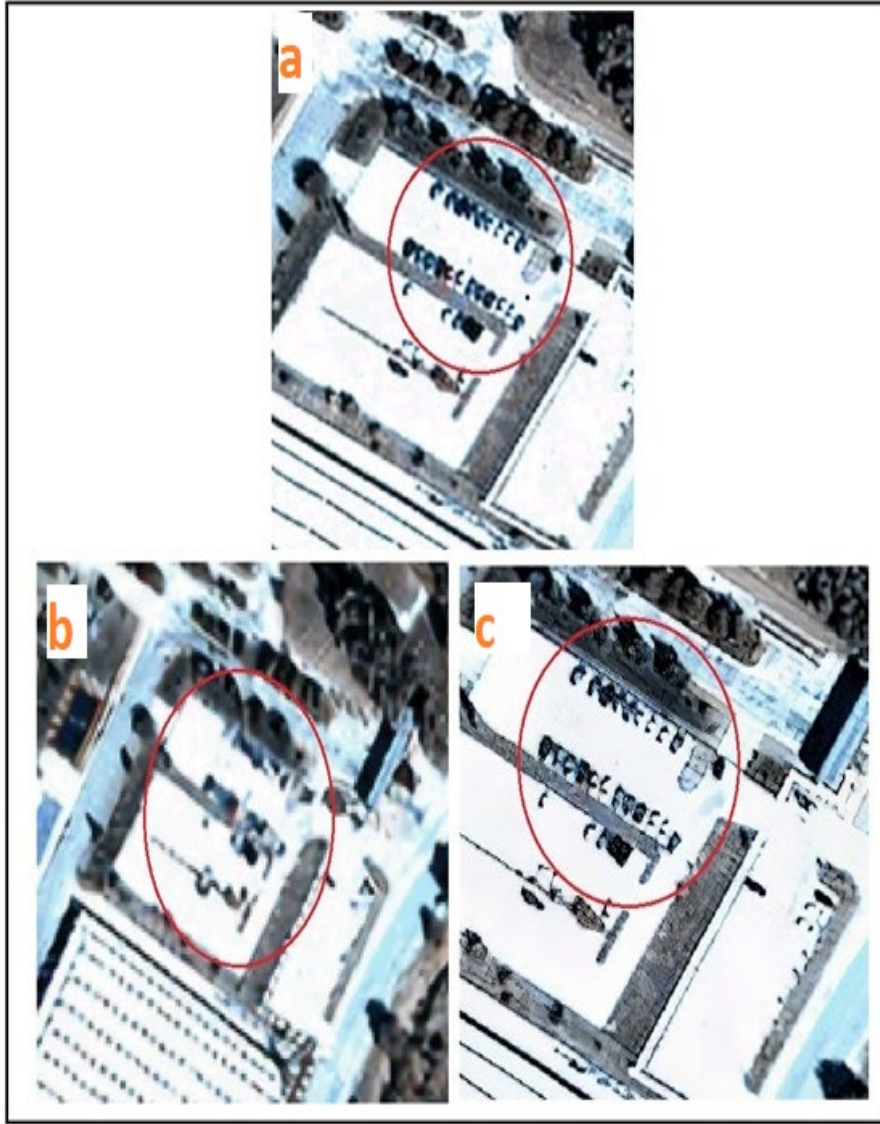
#### **4.7 Süper Çözünürlük Uygulaması**

Göktürk-1 Uydu görüntülerine yapılan süper çözünürlük uygulaması iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk önce Python yazılım dilinde EDSR modeli ve Tensorflow kütüphanesi

yardımla hazır eğitilmiş DIV2K veri seti kullanarak pankeskinleştirilmiş görüntülere 1/5000 ölçekli bir haritanın kapladığı alan büyüklüğünde (6 km<sup>2</sup>) öncelikle iki kat (x2) süper çözünürlük uygulaması yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. İkinci yöntemde ise piyasada hazır paket yazılım olarak bulunan Topaz Gigapixel AI kullanarak yapılmış ve altı kat (x6) süper çözünürlük (SR) uygulaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde görüntü yorumlama açısından EDSR modeli ve DIV2K eğitim veri seti ile yapılan süper çözünürlük uygulamasının performansı Topaz ile yapılan uygulamaya göre çok düşük kalmıştır (Şekil 4.34-Şekil 4.46). Bu durumda DIV2K eğitim veri setini eğitmek için kullanılan görüntülerin pankeskinleştirilmiş uydu görüntülerinin spektral özelliklerine karşı yetersiz olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca bu duruma süper çözünürlük uygulaması yapılırken görüntülerin alanının büyük olmasının ve modelin büyük alanı işlemede yetersiz kalması düşünülebilir. Çünkü sadece otoparktaki araçların yer aldığı 500 x 500 piksellik alan ile SR uygulaması yapıldığında araçların bozulmadığı görülmüştür (Şekil 4.33). EDSR modeli için kaynaklar bölümünde belirtilen web adresinden yararlanılmıştır (İnt. Kyn. 4).



**Şekil 4.33** (a) 500x500 piksellik alanda Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile SR uygulaması yapılan görüntü .



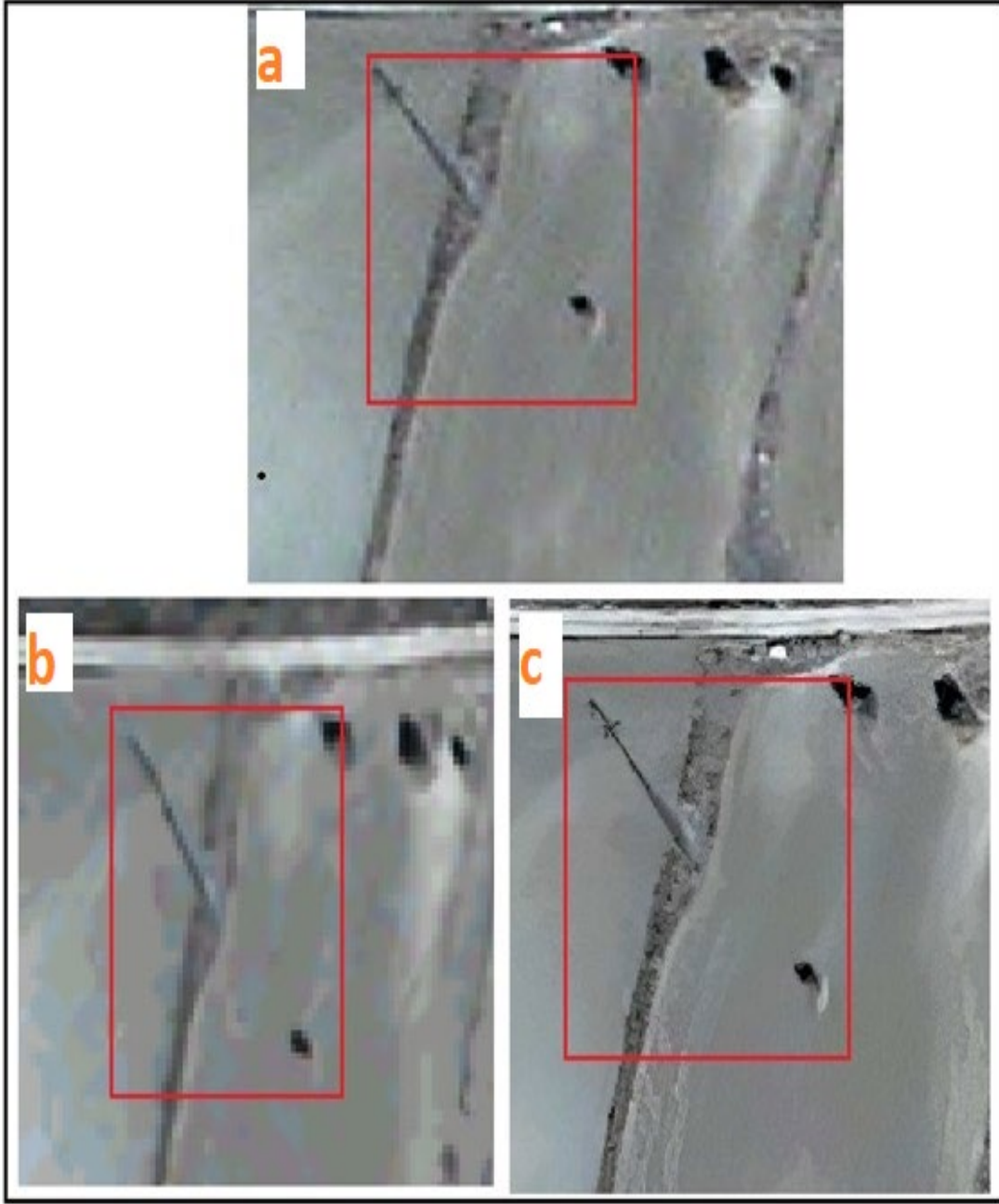
**Şekil 4.34** (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR..

Şekil 4.34’ de dikkat edilirse EDSR modeli kullanılarak yapılan SR uygulamasında arabalar tanınmaz hale gelmiştir (Şekil 4.34b). Ancak Topaz ile yapılan SR de araba detayları keskinleşerek görüntü kalitesi iyileşmiştir (Şekil 4.34c).



**Şekil 4.35** (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR.

Şekil 4.35c’te Topaz ile elde edilen görüntü EDSR modeli ile elde edilen görüntüye göre Şekil 4.35b ‘de daha kalitelidir.



**Şekil 4.36** (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR.

Şekil 4.36’da elektrik direğinin tespit ve tanınabilirliği Topaz yazımı ile yapılan süper çözünürlük uygulamasında artmıştır (Şekil 4.36b). EDSR modeli ise görüntüyü bozmuştur (Şekil 4.36c).

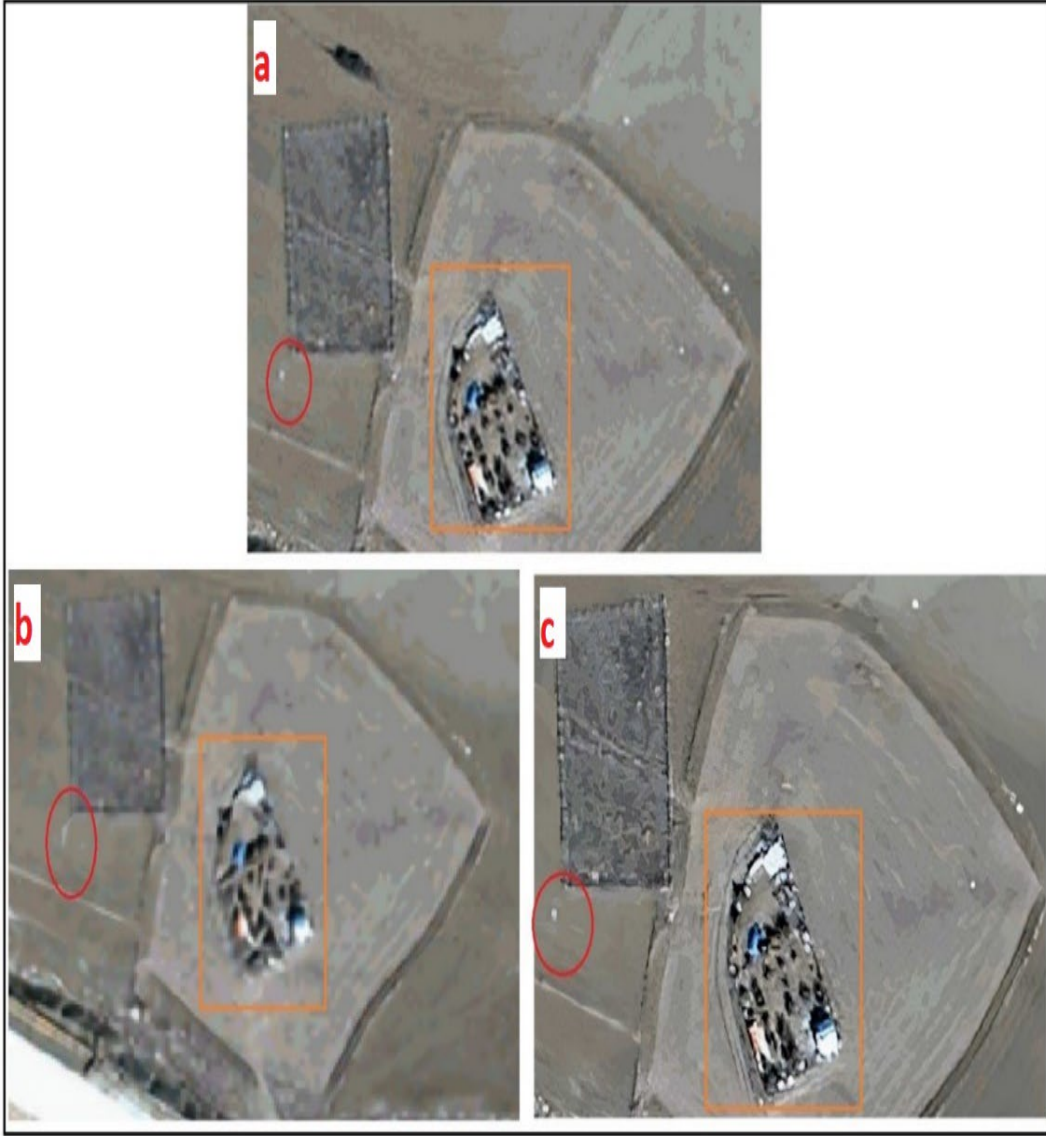
Şekil 4.37’de Topaz ile yapılan SR görüntü netliği ve keskinliğini arttırması dikkat çekicidir.



**Şekil 4.37** (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR.

Şekil 4.38’de kırmızı halkanın içinde gösterilen rögar detayı EDSR modeli ile SR uygulamasında yok olmuş ancak Topaz ile yapılan uygulamada oluşan görüntüde tespit edilebilirliği artmıştır (Şekil 4.38b). Ayrıca turuncu alan içinde gösterilen bahçe ve evin görüntü keskinliği Topaz SR de artmış EDSR modeli ile SR de bozulmuştur (Şekil 4.38c).

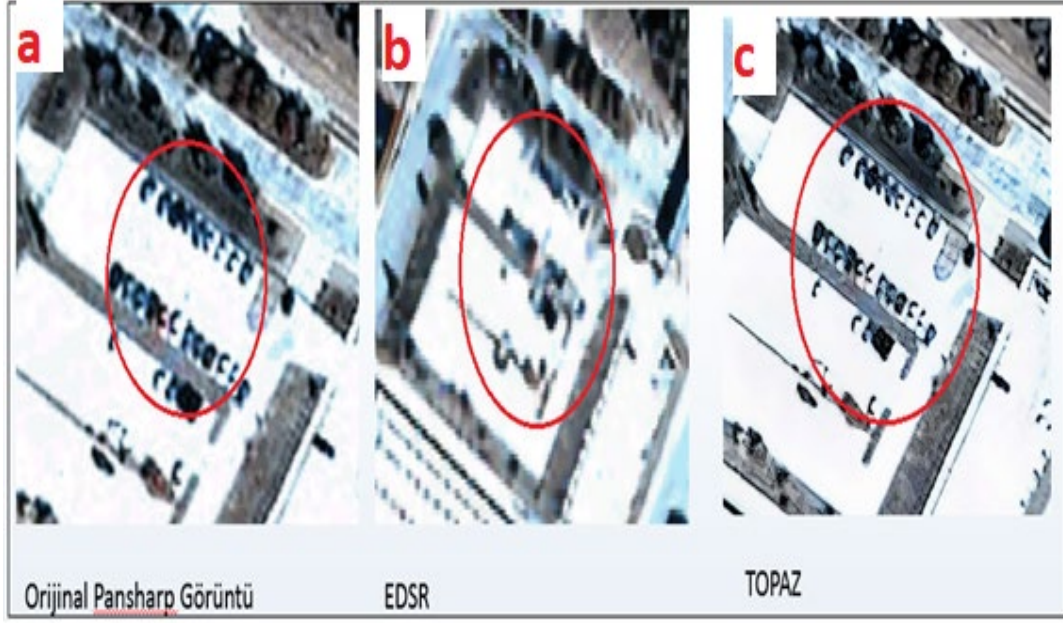
Göktürk-1 Uydu görüntülerinin görüntü iyileştirme uygulamaları sonucu elde edilen görüntülerin, Ulusal Görüntü Yorumlanabilirlik Derecelendirme Ölçeğine (NIIRS) göre görüntü yorumlanabilirlik dereceleri belirlenmiştir (Ali vd. 2016). Bunun için Çizelge 4.4’te verilen NIIRS referans kılavuzundan faydalanılmıştır. (Irvine 1997).



**Şekil 4.38** (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR.

#### Çizelge 4.4 NIIRS Referans Kılavuzu (İnt. Kyn. 5)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NIIRS 0</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Görüntülerin yorumlanabilirliği, bulanıklık, bozulma veya çok düşük çözünürlük nedeniyle engelleniyor                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>NIIRS 1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Kentsel ve kırsal alanlar arasında ayrım yapın.<br>Büyük bir sulak alanı (100 dönümden büyük) belirleyin.<br>Kıyı şeridini çizin<br>Su üzerindeki büyük karayolu ve demir yolu köprülerini tespit edin<br>Kar veya buz örtüsünün kapsamını belirtin                                                                                  |
| <b>NIIRS 2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Çok şeritli otoyolları tespit edin.<br>Ağaç kesimi tespit edin<br>Ekili arazinin genişliğini belirleyin<br>Nehir taşkın yataklarını tanımlayın.                                                                                                                                                                                      |
| <b>NIIRS 3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Doğrusal bir özellik boyunca bitki örtüsü/toprak nemi farklılıklarını tespit edin<br>Kentsel alanlardaki önemli sokak düzenlerini belirleyin.<br>Golf sahalarını tanımlayın<br>Kentsel bir alandaki konut, ticari ve endüstriyel alanları birbirinden ayırın                                                                         |
| <b>NIIRS 4</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| İki şeritli iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş yollar arasında ayrım yapın.<br>Tek şeritli bir yolu kapatabilecek büyüklükteki heyelan veya kaya kaymasını tespit edin.<br>Açık suda küçük tekneleri (15-20 feet uzunluğunda) tespit edin<br>Doğal yüzeyli uçak pisti bakımı veya iyileştirmelerine ilişkin belirtileri tespit edin. |
| <b>NIIRS 5</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Otoparkta otomobil tespit edin<br>Tarlalarda sulama tespiti<br>Ham inşaat malzemelerinin (örneğin kereste, kum, çakıl) tespiti.                                                                                                                                                                                                      |
| <b>NIIRS 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Uzun otların arasında ayak izlerini tespit edin.<br>Açık ancak çitle çevrili alanlarda hayvanları tespit edin<br>Konut alanlarındaki (örneğin gecekondulu mahalleleri, mülteci kampları) bireysel konutları sayın.<br>Otomobilleri sedan veya station wagon olarak tanımlayın                                                        |
| <b>NIIRS 7</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Savaş uçağı boyutlarındaki bir uçaktaki donanımları ve kaporta parçalarını tanımlayın<br>Tanksavar güdümlü füzeler için montajı tespit edin                                                                                                                                                                                          |
| <b>NIIRS 8</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bir araçtaki ön cam sileceklerini tespit edin.<br>Raylı tank arabalarındaki kubbe/havalandırma desenini tanımlayın                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>NIIRS 9</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bir antende telleri bağlayan küçük açık renkli seramik yalıtkanları belirleyin.<br>Kamyonlardaki araç tescil numaralarını belirleyin.                                                                                                                                                                                                |



Şekil 4.39 (a) Pankeskinleştirilmiş görüntü, (b) EDSR modeli ile yapılmış SR ve (c) Topaz Gigapixel AI ile yapılmış SR.

NIIRS değerlendirme çizelgesine (Çizelge 4.4) göre 5'nci derece yorumlama derecesi olan bir görüntüde kriter olarak otoparktaki araçların tespit edilebilmesi istenir. Ancak Şekil 4.39a ve 4.39b'de gösterilen 6 km<sup>2</sup>'lik alanda yapılmış pankeskinleştirilen görüntüde ve TOPAZ yazılımı ile SR uygulaması yapılan görüntüde yer alan otoparktaki araçlar tespit edilebilirken EDSR modeli ile SR uygulaması yapılan görüntüde araçlar tespit edilememektedir (Şekil 4.39c). Ancak bu sonuç yukarıdaki Şekil 4.33'de ifade edilen şekil ile karıştırılmamalıdır. Bunun sonucunda Pansharp ve TOPAZ ile SR yapılan görüntünün NIIRS değeri 5 iken EDSR ile SR yapılan görüntünün NIIRS değeri 4 olmuştur. Ayrıca görüntülerin görüntü kalite metrikleri Referanssız Görüntü Mekansal Kalite Değerlendirme metriği (BRISQUE) değeri Matlab yazılımı ile hesaplanarak sonuçlar Bulgular kısmında Çizelge 5.4'te verilmiştir.

## 5. BULGULAR

Bu tez çalışmasında Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri ile 1/25000 ve 1/5000 ölçekli pafta bazında fotogrametrik harita üretimine başlamadan önce RPC parametreleri ile iç yöneltme işlemlerinden sonra hem yersel ölçmelerle elde edilmiş YKN ile hem de fotogrametrik yöntemle elde edilmiş YKN'ler ile dengeleme işlemi yapılmış elde edilen karesel ortalama hatalar (KOH) aşağıdaki Çizelge 5.1 de verilmiştir. Çalışmada 5 adet YKN kullanılmıştır. Fazla sayıda YKN kullanmak konumsal doğruluğu artırıcı bir etki yapmaz (Fraser 2004). Yer kontrol noktalarının dağılımı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Dengeleme işlemi için YKN dağılımı.

Çizelge 5.1 Dengeleme sonuçları.

| Yöntem             | NN      | rx (m) | ry(m)  | rz(m)  |
|--------------------|---------|--------|--------|--------|
| Fotogrametrik      | N5      | 0,013  | -0,410 | 0,032  |
| Nirengi            | N4      | 0,251  | 0,091  | -0,026 |
|                    | N3      | -0,163 | 0,376  | -0,025 |
|                    | N2      | 0,041  | -0,385 | 0,042  |
|                    | N1      | -0,146 | 0,327  | -0,024 |
| Yersel Ölçülen YKN | N06-539 | -0,145 | 0,341  | -0,026 |
|                    | N06-525 | 0,016  | -0,301 | 0,012  |
|                    | N06-473 | -0,089 | 0,320  | -0,017 |
|                    | N06-051 | 0,159  | -0,010 | 0,022  |
|                    | N06-036 | 0,055  | -0,353 | 0,008  |

Stereo uydu görüntülerine yapılan dengeleme işlemlerinden sonra üçboyutlu (3B) model oluşturulmuş ve paralaks olup olmadığı kontrol edildikten sonra 1/25000 ve 1/5000 ölçekli fotogrametrik kıymetlendirme kurallarına göre kıymetlendirme işlemleri yapılmıştır. Daha sonra elde edilen vektör detaylar 15 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğrafından kıymetlendirilen detaylar ile karşılaştırılarak uydu görüntüsünün hava fotoğrafını karşılama oranı nicelik olarak incelenerek Çizelge 5.2’de gösterilmiştir

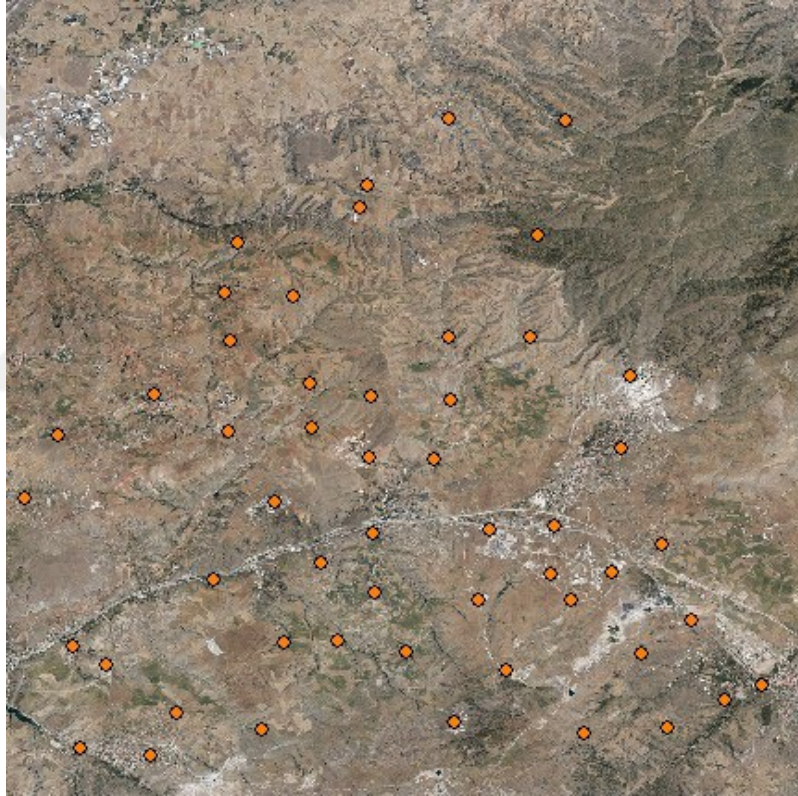
**Çizelge 5.2** Uydu görüntüsünün hava fotoğrafını karşılama oranı.

| Kategori                     | Detaylar                            | 1/25000    |           |              | 1/5000     |           |              |
|------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|
|                              |                                     | Hava Foto. | Uydu Gör. | U / H        | Hava Foto. | Uydu Gör. | U / H        |
| <b>ALAN (km<sup>2</sup>)</b> | Orman                               | 40         | 40        | 1            | -          | -         | -            |
|                              | Ekili dikili alanlar                | 7          | 7         | 1            | 2          | 2         | 1            |
|                              | Bina, Yapı                          | 8126       | 8125      | 1            | 0,31       | 0,3       | 0,968        |
|                              | Parsel Alan                         | -          | -         | -            | 6          | 6         | 1            |
| <b>ÇİZGİ (km)</b>            | Yol                                 | 3090       | 3086      | 0,99         | 140        | 138       | 0,98         |
|                              | Dere, Kanal, Ark vb.                | 862        | 862       | 1            | 7          | 7         | 1            |
|                              | İletim Hattı                        | 310        | 296       | 0,95         | 38         | 29        | 0,763        |
|                              | Sınırlar (Duvar, Çit vb.)           | 676        | 670       | 0,991        | 12         | 12        | 1            |
| <b>NOKTA (Adet)</b>          | Bina, Yapı                          | 29112      | 29107     | 1            |            |           |              |
|                              | Ağaç, Çalı                          | 76322      | 76298     | 1            | 542        | 534       | 0,98         |
|                              | Menfez                              | 350        | 338       | 0,96         | 18         | 16        | 0,88         |
|                              | Diğer Detaylar(Pano,Anten,Trafo vb) |            | -         | -            | 11         | 8         | 0,72         |
| <b>Ortalama (%)</b>          |                                     |            |           | <b>0,991</b> |            |           | <b>0,932</b> |

Çizelge 5.2 incelendiğinde Göktürk-1 stereo uydu görüntülerinin 1/25000 ölçekli fotogrametrik harita üretiminde hava fotoğrafını yüzde 99 oranında karşıladığı, 1/5000 ölçekli harita üretiminde ise yüzde 93 oranında karşıladığı görülmüştür. Eksik kalan detaylar arazi bütünlemesi ya da yardımcı kaynak kullanarak tamamlanabilir.

Uydu görüntüleri ile elde edilen stereo modelin yata ve düşey konum doğruluğu da araştırılmıştır. Yatay yöndeki doğruluk için referans olarak kullanılan 15 cm

            nde stereo hava fotoğraflarından beton zemin, bina, duvar gibi net olarak seçilebilen detayların koordinatları 3B olarak fotogrametrik i  istasyonunda okunarak aynı noktaların G  kt rk-1 uydusu üzerinden okunan değerleri ile kar ıla tırılarak Karesel Ortalama Hatası (KOH) hesaplanmıştır. Stereo modelin d  sey yöndeki doğruluk değeri ise Harita Genel M  d rl     (HGM) tarafından Türkiye Jeoidi -20 (TG 20)  alı maları kapsamında üretilen yer kontrol noktaları kullanılmıştır ( ekil 5.2). Bu noktaların yatay konum doğruluğu birkaç cm, elipsoit d  sey konum doğruluğu ise 1 dm'den daha iyi duyarlılıkta belirlenmiştir (Simav vd. 2021). Yatay ve konum doğrulukları  izelge 5.3 de verilmiştir.



**Şekil 5.2** D  sey konum doğruluğu için kullanılan YKN dağılımı.

**Çizelge 5.3** G  kt rk -1 uydusundan üretilen stereo modelin yatay ve d  sey doğrulukları.

| Yöntem                   | $m_x$<br>(m) | $m_y$<br>(m) | $m_z$<br>(m) | $m_{xy}$<br>(m) | Nokta Sayısı<br>(adet) |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------|
| GNSS ile<br> retilen YKN | 0.37         | 0.74         | 0.63         | 0.83            | 53                     |
| Stereo Okumalar          | 0.49         | 0.98         | 0.33         | 1.10            | 28                     |

Aynı kontrol noktaları kullanılarak Pankeskinleştirilmiş görüntünde konumsal doğruluğu için Karesel Ortalama Hataları hesaplanarak aşağıdaki Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4** Göktürk -1 uydusu pankeskinleştirilmiş görüntü stereo modelin yatay ve düşey doğrulukları.

| Yöntem                   | $m_x$<br>(m) | $m_y$<br>(m) | $m_z$<br>(m) | $m_{xy}$<br>(m) | Nokta Sayısı<br>(adet) |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------|
| GNSS ile<br>Üretilen YKN | 0.55         | 0.71         | 0.9          | 0.89            | 53                     |
| Stereo Okumalar          | 0.69         | 0.88         | 0.63         | 1.12            | 28                     |

Çizelge 5.3 incelendiğinde elde edilen yatay ve düşey konum doğruluklarının 1/5000 ve 1/25000 ölçekli fotogrametrik harita üretimi kriterlerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca Pankeskinleştirmenin görüntünün yatay ve düşey konumun hatasına etkisi olmadığı test edilmiştir. Pankeskinleştirme uygulaması fotogrametrik kıymetlendirme operatörüne detay tespit ve tanıma aşamasında yardımcı olmaktadır.

Görüntülerin NIIRS kriterlerine göre görüntü yorumlama dereceleri ve BRISQUE değerleri ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.5** Görüntülerin NIIRS ve BRISQUE değerleri.

| Görüntü                        | NIIRS | BRISQUE |
|--------------------------------|-------|---------|
| Pankeskinleştirilen<br>Görüntü | 5     | 41,4    |
| EDSR SR                        | 4     | 40      |
| TOPAZ SR                       | 5     | 45,12   |

Çizelge 5.5'deki değerlere göre pankeskinleştirilmiş görüntüye EDSR modeli ile SR yapılması sonucunda elde edilen görüntüde görüntü kalitesi artmış fakat görüntü yorumlama derecesi azalmış ancak TOPAZ yazılımı ile yapılan SR ile elde edilen görüntüde görüntü kalitesi azalmış fakat görüntü yorumlama derecesi artmıştır. Bu sonuç bize görüntü kalitesinin artmasının görüntü yorumlama üzerinde her zaman tek başına yeterli katkı sağlamadığını göstermiştir.

Stereo pankeskinleştirilmiş görüntülere SR uygulaması yapılırken TOPAZ yazılımının görüntü yorumlama açısından daha iyi sonuç vermesinden dolayı bu görüntülerle ortogörüntü üretilmiş fakat üretim aşamasında SR uygulamasının görüntüdeki piksellerinde yaptıkları değişimlerden dolayı uydu görüntülerine ait RPC katsayıları kullanılamamış sadece fotogrametrik nirengi ile elde edilen yer kontrol noktaları kullanılmıştır (Şekil 5.3). Bundan dolayı üretilen ortogörüntünün konumsal doğruluğu için hesaplanan KOH değeri  $\pm 3,51$  m çıkmıştır. Ancak pankeskinleştirilmiş uydu görüntüleri ile üretilen ortogörüntünün KOH değeri  $\pm 2,68$ 'dir. Bu farklılığa ortogörüntü üretirken SR uygulaması sonucu oluşan görüntüde PRC katsayıları kullanılamamasının neden olduğu değerlendirilmektedir. Her iki ortogörüntünün KOH hesabı için referans olarak hava fotoğraflarından stereo okumalarla elde edilen YKN ler kullanılmıştır.



**Şekil 5.3** SR uygulaması yapılmış pankeskinleştirilmiş görüntüden üretilen ortogörüntü ve doğruluk hesaplaması için YKN dağılımı.

## 6. SONUÇLAR

Ülkelerin yüksek çözünürlüklü bir uyduya sahip olması ve istediği zaman dünyanın herhangi bir bölgesine yönlendirerek konumsal bilgi elde etmesi stratejik ve siyasi açıdan önemlidir. Bu tez çalışmasında ise ülke kaynaklarının yurtiçinde kalmasına katkı sağlamak, uydu görüntüleri ile harita üretmek isteyen kurum ve kuruluşlara ile kişilere karşılaştırılabilir sonuçlar sunmak amacıyla Türkiye'nin milli uydusu Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri ile 1/5000 ve 1/25000 ölçekli fotogrametrik harita yapılarak detayların tespit, teşhis ve tanınabilirliği analiz edilmiştir. Daha sonra 1/5000 ölçekli haritada kıymetlendirilen parsellerin kadastro güncelleme çalışmalarına altlık olabileceğini değerlendirmek amacıyla kayıtlı kadastro parselleri ile karşılaştırılarak alan ve konum analizi yapılarak yersel ölçmeler ile maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Sonrasında ise fotogrametrik harita üretirken kullanılan görüntülere görüntü iyileştirme uygulamaları süper çözünürlük ve pankeskinleştirme yöntemleri ile yapılarak sonuçların kıymetlendirme operatörüne sağladığı faydalar ile harita üretim sürecine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca süper çözünürlük uygulaması hem paket yazılım hem de derin öğrenme yöntemiyle yapılarak sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki verilmiştir:

Uydu görüntülerini dengeleme işlemleri hem yersel ölçümlerle üretilen YKN'ler kullanılarak yapılmış hem de fotogrametrik nirengi ile elde edilen YKN'ler kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen her iki sonuçta 1/5000 ve 1/25000 ölçekli harita üretimi için gerekli doğruluk kriterini sağlamaktadır. Doğruluk kriteri sağlandığı ve stereo modelde paralaks olup olmadığı kontrol edildikten sonra uydu görüntüsü üzerinden detayların ulaşım, yerleşim, bitki örtüsü ve arazi kullanımı, su kaynakları, sınırlar ve diğer arazi detayları gibi kategorilere ayrılarak tespit, teşhis ve tanınabilirliği analiz edilerek hava fotoğrafları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 5.2'ye göre uydu görüntüsü ile hava fotoğraflarından çizilen detay sayıları birbirleri ile karşılaştırıldığında 1/25000 ölçekli fotogrametrik haritada bulunması gereken detaylar %99 oranında 1/5000 ölçekli fotogrametrik haritada ise %93 oranında benzerdir. Çizelge 4.1'de belirtildiği üzere ulaşım kategorisinde demiryolu hattı detayı rahatlıkla tespit, teşhis ve tanımlanabilirken sinyalizasyon direkleri tespit edilebilir fakat teşhis ve tanıma aşamasına zorluk çekilebilir.

Dar patika yolların tespiti özellikle pankromatik görüntüde mümkün olmayabilir ve arazi bütünlemesi gerektirebilir. Ayrıca 1/5000 ölçekli fotogrametrik haritada bulunan kaldırım detayının bazı durumlarda tespit, teşhis ve tanınabilirliği zorlaşabilir ve yardımcı kaynak gerektirebilir. Ancak otoyol, limanlar, menfez, viyadük, köprü gibi detayların rahatlıkla tespiti, teşhisi ve tanınabilirliği yapılır. Yerleşim yerleri kategorisinde bina, park, mezarlık alanı, ticaret ve sanayi tesisleri rahatlıkla tespit, teşhis ve tanımlanabilir. Ancak dini yapılar ve mezarlıkların sınıflandırılmasında yardımcı kaynak gerekebilir. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı kategorisinde orman sınırları, ağaçlandırma sahaları, maden ocakları, toprak kazıntı, tek ağaç ve çalı ile ekili dikili alanlar rahatlıkla kıymetlendirilebilir ancak ekili ve dikili alanlarda meyvelik ve bağlık gibi sınıflandırmak operatör tecrübesine bağlı olarak zorlaşabilir ve yardımcı kaynak gerektirebilir. Su kaynakları kategorisinde kuru veya sulu dere, kanal, kanalet, ark, çeşme, havuz, bataklık gibi detayların tespiti, teşhisi ve tanımlanması yapılabilir. Ancak pınar detayının tespiti mümkün olmayabilir. Çok küçük çeşmelerin tespiti yapılabilir ancak teşhis ve tanımlama aşamasında zorluk yaşanabilir. Sınırlar kategorisinde duvar, çit ve parsel sınırlarının tespiti, teşhisi ve tanımlanması yapılır. Diğer arazi detayları kategorisinde ise yarma ve dolma sınırları, toprak set, hendek, enerji tesisleri ve trafolar gibi detayların kıymetlendirilmesi rahatlıkla yapılır. Ancak 34,5 kV kadar iletim hatları, reklam panoları, telefon hatları, rögar, anten gibi detayların tespiti zorlaşabilir ve yardımcı kaynak veya arazi bütünlemesi gerekebilir.

1/5000 ölçekli haritada kıymetlendirilen parsellerin ileride ülkemizde gayrimeskûn alanda da yapılması muhtemel 3B kadastro çalışmalarında altlık olarak kullanılabileceği incelenmiştir. Bu kapsamda stereo çizilen parsellerin hem kayıtlı parseller ile yanılma sınırı içerisinde kalıp kalmadığı yönetmelik kapsamında incelenmiş hem de kayıtlı parsellerin merkezleri ile konumsal farklılığı incelenmiştir. Ayrıca kadastro çalışmalarının yersel ölçmeler ile yapılması durumunda ortaya çıkan maliyet, uydu görüntüleri ile yapılması durumunda ortaya çıkacak maliyet ile karşılaştırılmıştır. Ülkemiz için uydu görüntüleri yurtdışı kaynaklardan temin edildiğinde maliyet, görüntü elde edilmesi aşaması ve zaman faktöründe çeşitli sıkıntılara neden olabilir ancak uydu görüntüleri yerli ve milli uydumuz olan Göktürk-1 uydusu tarafından karşılanması durumunda Çizelge 4.3'teki maliyet hesabına göre oldukça avantajlı olduğu görülmüştür.

Ayrıca stereo çizilen parsellerin komşu parsellere sınır ihlali veya tescili yapılmadan hazine, mera arazisi gibi alanların mevcut parsellere katılmadığı durumlarda yanlış sınırlar içerisinde kaldığı ve parsel merkezlerinin yersel ölçmeler ile tapu kadastro sistemine tescillenmiş parsellerin merkezleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca yukarıda da bahsedildiği gibi bazı ülkelerde yapıldığı gibi 3B kadastro çalışmalarının ülkemizde sadece meskûn alanla sınırlı kalmayıp gayrimeskûn alanlarda parsellere de uygulanması durumunda yükseklik değerlerinin stereo çizimlerden karşılanabileceği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak Göktürk-1 uydu görüntüleri 3B kadastro çalışmalarında maliyet, zaman ve konumsal bilgi açısından etkili bir veri kaynağı olacaktır.

Tez çalışmasında fotogrametrik harita üretimi 50 cm çözünürlüklü stereo Pankromatik görüntülerle yapılmıştır. Görüntü kıymetlendirme aşamasında pankromatik görüntüleri kullanmak çizim operatörüne bazı zorluklar yaşatabilir. Örneğin düz arazide kuru dere patika yollarla karıştırılabilir. Çizim operatörünün karşılaştığı bazı zorlukları elimine etmek, operatöre ne tür katkılar sağladığını incelemek, tespit edilemeyen detayların tespit edilebilirliğini ne derecede etkilediğini incelemek amacıyla görüntü iyileştirme çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre pankeskinleştirme uygulaması sonucunda oluşan stereo modelin pankromatik modele göre yatay ve düşey konumunda önemli bir değişiklik olmadığı ancak kıymetlendirme aşamasında operatöre detayların tespiti, teşhisi ve tanımlanması aşamasında olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Fotogrametrik kıymetlendirme operatörlerinin birçoğu pankromatik görüntülerle kıymetlendirmede tecrübesiz olduğu için detayları tespit etmekte zorlanır ve dolayısıyla bu durum kıymetlendirme süresinin uzamasına etki eder. Ayrıca düz arazilerde kuru dere ile patika yolların karışmasına sebep olabilir. Yine cami minaresi, anten gibi detayların pankromatik görüntüde tespit edilmesi zorlaşabilir. Bu gibi sorunların aşılmasında pankromatik görüntüler yerine pankeskinleştirilmiş görüntülerle kıymetlendirme yapmanın faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Süper çözünürlük uygulamaları ile yapılan görüntü iyileştirmesinde derin öğrenme yöntemi ve piyasada bulunan paket program TOPAZ Gigapiksel AI kullanılmıştır. Derin öğrenme ile yapılan uygulamada Python tabanlı Tensorflow kütüphanesi ile EDSR modeli ve hazır eğitilmiş DIV2K veri seti kullanılmıştır. Uygulama yapılan alan yaklaşık 1:5000 ölçekli haritanın kapladığı

alan 6 km<sup>2</sup>'lik alandır. Böyle büyük bir alanda yapay sinir ağı ile süper çözünürlük uygulamasında kullanılan modelin ve eğitim veri setinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Elde edilen görüntülerin görüntü kalite metriklerine göre EDSR modeli kullanarak yapılan görüntü iyileştirme uygulamasının TOPAZ ile yapılanına göre görüntü kalitesinin daha iyi olduğu görülmüş ancak görüntü yorumlama derecesine göre değerlendirildiğinde daha kötü olduğu görülmüştür. Bu durum öncelikle görüntü kalitesini iyileştirmenin her zaman operatörün görüntü yorumlama derecesine olumlu etki etmediğini göstermiştir. EDSR modeli ile yapılan süper çözünürlük uygulamasında kullanılan hazır eğitilmiş veri setleri yerine kullanıcının özel olarak oluşturduğu veri seti kullanmak sonucun daha iyi yapacaktır. TOPAZ programı ile görüntü iyileştirme sonucunda detayların keskinliği ve netliği arttığı için operatöre detay tespiti aşamasında olumlu katkı sağlamaktadır. Ayrıca detaylardan bina kenarı, parsel sınırı, duvar gibi sınır hatları daha net çizebilir. Ancak hem derin öğrenme yöntemiyle hem de TOPAZ ile yapılan görüntü iyileştirmesinde görüntüdeki piksellerde değişikli olduğu için görüntüleri dengeleme aşamasında uydu RPC parametreleri kullanılamamakta dolayısıyla stereo model oluşturulurken sıkıntı yaratmaktadır. Bunun sonucu olarak stereo model yerine ortogörüntü üretilmiş ve doğruluğu düşük çıkmıştır. Bu kapsamda görüntü iyileştirme uygulamalarından pankeskinleştirme uygulamasının operatöre stereo model üzerinden renkli görüntülerle kıymetlendirme yapma imkânı sağlaması ve geometrik doğruluğu değiştirmemesi bakımından önemlidir. Ancak süper çözünürlük uygulamalarının geometrik doğruluk konusunda geride kalması fakat görüntüdeki detayların keskinliğini ve netliğini daha iyi arttırdığı için operatöre kıymetlendirme aşamasında yardımcı altlık olarak kullanması daha yararlı olacaktır. Görüntü iyileştirme sonucu elde edilen sonuçların çizim operatörüne görüntü tespiti aşamasında kolaylık sağladığı için harita üretim süresine olumlu katkı sağlayacağı ve dolaylı yünden arazi bütünleme süresini de olumlu yönden etkileyeceği değerlendirilmektedir.

Elde edilen tüm sonuçlar; uydu görüntüleri ile fotogrametrik harita üreten kişi, kurum ve kuruluşlara için karşılaştırma verisi olmakla birlikte ülkemizde milli uydumuz olan Göktürk-1 uydusu görüntülerinin harita üretiminde ve güncellemesinde gerekli olan kriterleri sağladığı, harita üretim amaçlı uydu görüntüsü temininde harcanan finansal kaynakların ülkemizde kalmasının ve dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlaması

bakımından önemlidir.

Gelecek çalışmalarda uydu görüntü ön işleme ve kıymetlendirme yazılımlarının yerli olarak geliştirilmesi, büyük alanları kapsayan görüntülere süper çözünürlük uygulamaları yapmak için derin öğrenme modellerin geliştirilmesi ve uydu görüntüleri için kullanılabilecek detaylı bir eğitim veri setinin oluşturulması gibi çalışmaların uydu görüntüleri ile harita üretimine, mevcut haritaların güncelleştirilmesine ve sunumuna büyük katkı sağlayacaktır. Ayrıca ülkemizde uydu görüntüleri ile harita üretimi ve uydu görüntülerinin kadastro çalışmalarında kullanılmasıyla ilgili standartların belirlenerek ilgili yönetmeliklerle yayınlanması gereklidir.



## 7.KAYNAKLAR

- Algancı U, Sertel E, Örmeci C, Özdoğan M, 2011, Uydu Görüntülerinde Mekansal Çözünürlüğünün Tarım Alanlarının ve Ürün Tiplerinin Belirlenmesine Etkisinin Araştırılması: Şanlıurfa Örneği, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi (104.2), 21-27.
- Ali M A, Eltohamy F, Salama G I, 2016, Estimation of NIIRS, for High Resolution Satellite Images, Using the Simplified GIQE, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 4, Issue 5.
- Ali Z, Tuladhar A, Zevenbergen J, 2012, An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 386-398.
- Anwar S, Khan S H, Barnes N, (2019), A deep journey into super-resolution: A survey, arXiv preprint arXiv:1904.07523.
- Büyüksalih G, 2000, Doğrusal Dizin (Pushbroom) Görüntüleme Sistemleri, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6 (2-3), 219-228.
- Babawuro U, Beiji Z, 2012, Satellite imagery cadastral features extractions using image processing algorithms: a viable option for cadastral science. Int. J. Comput. Sci, 9(4), 30-38.
- Bianconi M, Crespi M, Fratacangeli F, Giannone F, 2007, New Software for RPC Use and Generation, pp6.
- Biasion A, Mondino E, Tonolo F, Rinaudo, F, 2006, October, High resolution satellite images for map production in developing countries, In The African Association of Remote Sensing and Environment, 6th Conference Proceedings, Vol 30.
- Cengiz A, Avcı D, 2021, Uydu imgelerine derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemlerinin uygulanması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(5), 1069-1077.
- Çiftçi S, Karaman M, 2020, Landsat Uydu Görüntülerinde Derin Öğrenme Tabanlı Tek Görüntülü Süper-Çözünürlük Deneyleri, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5(3), 194-204.

- Deshpande A, Patavardhan P P, 2019, Survey of Super Resolution Techniques, *ictact, Journal on Image Video Processing*, 9(3), DOI:10.21917/ijivp.2019.0273.
- Fernandez-Beltran R, (2017), Single-frame super-resolution in remote sensing: a practical overview, *International Journal of Remote Sensing* 38(1), 314-354.
- Forghani A, 2001, Evaluation of New Satellite Imagery Applications for Maintenance of AUSLIG Spatial Databases. Technical Report, Research and Development Section. Mapping and Maritime Boundaries Program, August 2001, pp. 1-135.
- Fraser C S, 2004, Prospects For Mapping From High-Resolution Satellite Imagery, *Asian Journal of Geoinformatics*, pp. 3-10.
- Fritsch, F N, Carlson R E, 1980, Monotone piecewise cubic interpolation, *SIAM Journal on Numerical Analysis* 17(2), 238-246.
- Garzelli A, 2016, A Review of Image Fusion Algorithms Based on the Super Resolution Paradigm, *Remote Sensing*, 8 (10), 797.
- Gao X, Li W, Loomes M, Wang L, A fused deep learning architecture for viewpoint classification of echocardiography, *Information Fusion*, 36, 103–113, 2017.
- Grodecki J, Dial G, 2003, Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 69(1), pp 59-68.
- Grodecki J, Dial G, 2001, IKONOS Geometric Accuracy, Proceedings of Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5, IV/7 on High Resolution Mapping from Space, University of Hanover.
- Holland D, Boyd D S, Marshall P, 2006, Updating Topographic Mapping in Great Britain Using Imagery From High-resolution Satellite Sensors, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 60, Issue 3, Pages 212-223.
- Holland D, Guilford R, Murray K, 2003, Topographic Mapping from High Resolution Space Sensors, OEEPE Official Publication, European Organization for Experimental Photogrammetric Research, No 44.
- Irvine J M, 1997, National Imagery Interpretability Rating Scales (NIIRS), Overview and Methodology Proceedings of the International Society for Optical Engineering

- (SPIE), 29-30 July, Volume 3128, pp.93-103.
- Hu Y, Tao V, Croitoru A, 2004, Understanding the rational function model: methods and applications, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 20, 119-124.
- J Yang, X Fu, Y Hu, Y Hu, X Ding, J Paisley, 2017, PanNet: A deep network architecture for pan-sharpening, *IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, pp. 1753-1761.
- Kartal H, 2017, Algılama Açısı, Topografya ve Arazi Örtüsünün Çok Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Sıft Tabanlı Otonom Ortorektifikasyon Sürecine Etkisi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, İstanbul.
- Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun, 2016, Identity mappings in deep residual networks. In *Computer Vision–ECCV, 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, Proceedings, Part IV* 14, 630–645.
- Kılınç Ç, Uysal M, 2023, Göktürk-1 Stereo Uydu Görüntüleri ile 1/5000 Ölçekli Fotogrametrik Harita Yapılabilirliğinin Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 693-699.
- Kumar M, Castro O, 2001, Practical Aspects of Ikonos Imagery for Mapping, *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Singapore, 5p.
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G, 2015, Deep learning, *nature* 521(7553), 436-444.
- Li R, 1998, Potential of High-Resolution Satellite Imagery for National Mapping Products, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, December 1998, 12, pp. 1165-1169.
- Lim B, Son S, Kim H, Nah S, Lee M K, (2017). Enhanced deep residual networks for single image super-resolution. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 136-144.
- Liang, S, Li X, Wang J, 2012, Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications, *Academic Press*, 34(14), 5262-5263.
- Masi G, Cozzolino D, Verdoliva L, Scarpa G, 2016, Pansharpening by convolutional neural networks, *Remote Sens*, vol 8, no.7, pp. 594.

- McGlone C, 1996, Sensor modeling in image registration, In Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, pages 115–123.
- Nacar F, 2015, Türkiye’deki kadastro yenileme çalışmalarında ortofoto ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 206s, Konya.
- Ravanelli R, Lastilla L ve Crespi M, 2019, Orthoimage Generation by GÖKTÜRK-1 A Test Case in Rome, 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), İstanbul, Turkey 2019, pp. 839-843.
- Rao S S, Sharma J R., Rajashekar S S, Rao D S P, Arepalli A, Arora, V, Kanaparthi M, 2014, Assessing usefulness of high-resolution satellite imagery (HRSI) for re-survey of cadastral maps, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2, 133-143.
- Rokhmana C A, Laksono D P, 2021, Sharpening of Sentinel-2 imagery for updating thematic layer of base maps, In Seventh Geoinformation Science Symposium ,Vol. 12082, DOI: 10.1117/12.2619446.
- Sandilya M, Nirmala, S R, Determination of reconstruction parameters in Compressed Sensing MRI using BRISQUE score, 2018, International Conference on Information, Communication, Engineering and Technology (ICICET), Pune, India, 2018, pp. 1-5.
- Simav M, Akpınar İ, Akdoğan YA, Yıldız H, 2021, Türkiye’de Güncel Yersel Gravimetri Çalışmaları, Harita Dergisi Ankara, Temmuz 2021, 166, 10-24.
- Singh A, Singh J, 2020, Survey on Single Image based Super-resolution Implementation Challenges and Solutions, Multimedia Tools and Applications, 79, 1641-1672.
- Shermeyer J, Van Etten A, 2019, The effects of super-resolution on object detection performance in satellite imagery, In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 1-10.
- Scheider S, Richter KF, 2023, GeoAI, Künstl Intell 37, 5-9.
- Tao, C V, Hu Y, 2001, A comprehensive study of the rational function model for

photogrammetric processing,. Photogrammetric engineering and remote sensing, 67(12), pp.1347-1358.

Toutin T, 2004, Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods, International journal of remote sensing, 25(10), pp.1893-1924.

X Ding, Y Jiang, Y Huang, J Paisley, 2014, Pan-sharpening with a Bayesian nonparametric dictionary learning model, 17th Int. Conf. Artif. Intell. Statist, pp. 176-184.

Xiuwan, C, 2002, Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development, International Journal of Remote Sensing, 23(1), 107-124.

Wassie A, Koeva N, Bennett M, Lemmen, J, 2018, A procedure for semi-automated cadastral boundary feature extraction from high-resolution satellite imagery, Journal of spatial science, 63(1), 75-92.

Y Wei, Q Yuan, H Shen, L, Zhang, 2017, Boosting the Accuracy of Multispectral Image Pansharpening by Learning a Deep Residual Network in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 14, no. 10, pp. 1795-1799.

### **İnternet Kaynakları**

1-<https://telespazio.com/en/news-and-stories-detail/-/detail/>, 19.08.2024

2-[https://tr.wikipedia.org/wiki/Yük\\_bağlaşımlı\\_aygıt](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yük_bağlaşımlı_aygıt), 30.08.2024

3- <https://www.ilbank.gov.tr/storage/uploads/reports/5-2024-yili-altyapi-tesisleri-birim-fiyatlari.pdf>, 02.05.2024

4-[https://github.com/Saafke/EDSR\\_Tensorflow](https://github.com/Saafke/EDSR_Tensorflow), 11.05.2024

5-<https://irp.fas.org/imint/niirs.htm>, 16.10.2024

Kılınç, Ç, Uysal M, 2021, Küçük Ölçekli Fotogrametrik Haritalarda Nokta Bulutu Filtreleme Yöntemleri ile Eşyükseklik Eğrisi Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(1), 167-178.  
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.823165>.

