

**RASAT VE GÖKTÜRK-2 UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN
UZAKTAN ALGILAMA YAZILIMLARI İLE FARKLI
REFERANS VERİLERİ KULLANARAK GEOMETRİK
DÜZELTME DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI**

Ramazan Küpcü
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Anabilim Dalı
Haziran-2015

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ramazan Küpcü'nün "RASAT ve Göktürk-2 Uydu Görüntülerinin Uzaktan Algılama Yazılımları İle Farklı Referans Verileri Kullanılarak Geometrik Düzeltme Doğruluğunun Araştırılması" başlıklı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 03/06/2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. Alper ÇABUK	
Üye	Prof. Dr. Şükran ŞAHİN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Hakan UYGUÇGİL	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RASAT VE GÖKTÜRK-2 UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YAZILIMLARI İLE FARKLI REFERANS VERİLERİ KULLANARAK GEOMETRİK DÜZELTME DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Ramazan KÜPCÜ

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Alper ÇABUK

2015, 123 sayfa

Türkiye’de uzaktan algılama amaçlı yer gözlem uydularının geliştirilmesi süreci 2001 yılında BİLSAT uydusu ile başlamıştır. BİLSAT uydusundan edindiği bilgi birikimi sayesinde yüksek millilik oranı ile tasarlayıp geliştirdiği RASAT uydusu ve devamında Türk Silahlı Kuvvetleri’nin envanterine kazandığı Göktürk-2 uydusunu uzaya göndermiştir. RASAT ve Göktürk-2 uyduları uzaydaki görevlerine devam etmekte olup, Türkiye’de bulunan ve işletilen yer istasyonlarına dünyanın her yerinden çektiği görüntüleri indirmektedir. RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri kamu kurumları ve üniversitelerde yapılacak uzaktan algılama amaçlı araştırmalar için ücretsiz paylaşılmaktadır. Görüntülerin konuma bağlı uygulamalarda kullanılmadan önce yer koordinat sistemi ile hassas bir şekilde ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Türkiye’nin milli yer gözlem uyduları olan RASAT ve Göktürk-2’den çekilen görüntülerin fiziksel kamera modelleri kullanılarak sistematik olmayan geometrik hataların farklı uzaktan algılama yazılımları ile farklı referans ve yükseklik verileri kullanılarak geometrik düzeltmesi yapılacak ve sonuçları karşılaştırılacaktır. Geometrik düzeltmesi yapılacak RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri farklı coğrafi özelliklere sahip alanlardan seçilecektir. Referans görüntü olarak Google Earth ve Landsat 8 görüntüleri kullanılacaktır. Sayısal yükseklik modeli olarak SRTM, ASTER ve DTED verileri kullanılacaktır. Bu referans görüntülerden her bir geometrik düzeltme için 50, 25 ve 12 adet yer kontrol noktası ile 9 adet bağımsız denetim noktası toplanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Yer Kontrol Noktası, Bağımsız Denetim Noktası, Geometrik düzeltme.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF GEOMETRIC CORRECTION OF THE IMAGES TAKEN FROM RASAT AND GÖKTÜRK-2 SATELLITES USING DIFFERENT REMOTE SENSING PROGRAMS HAVING DIFFERENT REFERENCE IMAGERIES

Ramazan KÜPCÜ

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Remote Sensing and Geographic Information Systems Program**

Supervisor: Prof. Dr. Alper ÇABUK

2015, 123 pages

The development of remote sensing and earth observation satellites in Turkey began in 2001 with the BILSAT satellite. Exploiting the experience gain through the BILSAT satellite, the primarily nationally designed and developed RASAT satellite followed by the Göktürk-2 satellite, which is part of the Turkish Armed Forces inventory, were sent into space. As the missions in space of the RASAT and Göktürk-2 satellites continue, images taken from all corners of the world are downloaded using the ground stations located and operated in Turkey. The images from RASAT and Göktürk-2 satellites are distributed free of charge to public institutions and universities for the purposes of remote sensing research. For applications dependent upon position, the images must be referenced with a highly accurate ground coordinate system.

In this work, the geometric correction of the images taken from the Turkish earth observation satellites RASAT and Göktürk-2 will be accomplished using different remote sensing programs and their results compared in terms of the unsystematic geometric errors incurred when physical camera models are utilized. The geometric correction of the RASAT and Göktürk-2 satellites will be performed on images of regions with different geographical properties. As reference imagery, Google Earth and Landsat 8 images will be used. As a digital elevation model, SRTM, ASTER and DTED data will be used. From these reference images, for each geometrical correction 50, 25, and 12 control points as well as 9 independent check points will be extracted.

Keywords: Remote Sensing, Ground Control Point, Independent Check Point, Geometric correction.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen, yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren ve tezime danışmanlık yapan sevgili hocam Prof. Dr. Alper ÇABUK'a,

TÜBİTAK UZAY'da çalışan değerli mesai arkadaşlarım başta Mustafa Teke olmak üzere, Dr. Ufuk Sakarya'ya, H.Seda Deveci'ye, Dr. Sevgi Zübeyde Gürbüz'e, Erdiñ Berke'ye, kardeşim Sercan Küpcü'ye,

Ayrıca çalışmalarım sırasında her zaman yanımda ve destekçim olan sevgili eşim Yasemin Küpcü'ye, biricik kızlarım Ezgi ve İrem'e ve maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her şeyin üzerinde tuttuğum değerli aileme en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Ramazan KÜPCÜ

Haziran-2015

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI

1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. KURAMSAL TEMELLER	16
3.1. Uzaktan Algılama.....	16
3.1.1 Elektromanyetik Enerji.....	17
3.1.2 Algılama Sistemleri	18
3.2. Radyometrik Düzeltme.....	22
3.3. Geometrik Düzeltme – Ortorektifikasyon	23
3.4. Çözünürlük ve Yer Örneklem Mesafesi	30
3.5. Uyduların Yer Yüzünü Görüntüleme Prensipleri.....	31
3.6. Pankromatik Sensörler	32
3.7. Multispektral Sensörler	32
3.8. Yer Kontrol Noktası (YKN).....	33
3.9. Bağımsız Denetim Noktası (BDN).....	35
3.10. RASAT Uydusu ve Görüntüleri	36
3.11. Göktürk-2 Uydusu ve Görüntüleri	39
3.12. Landsat Uyduları ve Görüntüleri.....	42
3.13. Google Earth Görüntüleri	44
3.14. Sayısal Yükseklik Modeli	45

3.14.1. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.....	45
3.14.2. ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model)	46
3.14.3. DTED 2 (Digital Terrain Elevation Data)	47
3.15. Uzaktan Algılama Yazılımları.....	48
4. MATERYAL VE YÖNTEM	49
4.1. Materyal.....	49
4.2. Yöntem	51
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	56
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	67
6.1. ERDAS LPS Araştırma Sonuçları.....	67
6.2. ENVI Araştırma Sonuçları	71
7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	76
8. KAYNAKLAR	78
9. EKLER	83
EK-1. ERDAS Imagine LPS Programında görüntülerin ortorektifikasyon adımları:	83
EK-2. ENVI Programında görüntülerin ortorektifikasyon adımları:	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Elektromanyetik Spektrum	18
Şekil 3.2. SPOT-7 görüntüsü (Soldaki görüntü Atmosferik düzeltmesi yapılmamış, sağdaki görüntü atmosferik düzeltmesi yapılmış)	23
Şekil 3.3. WorldView-2 uydu görüntüsü Dallas Love Airport, Dallas, USA.....	24
Şekil 3.4. IKONOS uydu görüntüsü Pam Jumeirah Adası, Dubai.....	25
Şekil 3.5. SPOT-6 uydu görüntüsü İstanbul, Türkiye	26
Şekil 3.6. Pleiades-1A uydusu Abu Dhabi, UAE, Ferrari World-	26
Şekil 3.7. RASAT görüntülerindeki kayıklık değerleri	27
Şekil 3.8. Göktürk 2 görüntülerindeki kayıklık değerleri	28
Şekil 3.9. Uydu görüntüsünün orto görüntü yapım süreci	29
Şekil 3.10. Göktürk-2 İstanbul görüntüsünün LPS Programı ile referans görüntüden GCP toplanarak yapılan ortorektifikasyon işlemi.....	29
Şekil 3.11. Yer örneklem mesafesi açıklaması	30
Şekil 3.12. Örnek Geo-Eye görüntüsü (YÖM = 0.5m).....	30
Şekil 3.13. Pushbroom tarama şeması.....	31
Şekil 3.14. Örnek Pléiades pankromatik Sanfransisco görüntüsü.....	32
Şekil 3.15. Multispektral CCD dizileri, Her bantta N adet CCD detektörü gösterilmiştir.....	33
Şekil 3.16. Yer kontrol noktalarının seçimi	34
Şekil 3.17. Yer kontrol noktalarının dağılımı	35
Şekil 3.18. BND seçimi.....	36
Şekil 3.19. RASAT uydusu.....	37
Şekil 3.20. Göktürk-2 uydusu	40
Şekil 3.21. Landsat görüntülerinin indirilmesi.....	43
Şekil 3.22. Google Earth Programı genel görünümü	45
Şekil 3.23. Türkiye SRTM verisi (90m.)	46
Şekil 3.24. Türkiye ASTER GDEM verisi (30m.).....	47
Şekil 3.25. İstanbul DTED verisi (10m.)	47
Şekil 3.26. ERDAS IMAGINE LPS ara yüzü	48
Şekil 3.27. ENVI Ortorectification Tools ara yüzü.....	48
Şekil 4.1. Testlerde kullanılan RASAT görüntüleri.....	49

Şekil 4.2. Testlerde kullanılan Göktürk-2 görüntüleri	50
Şekil 4.3. Testlerde kullanılan referans görüntüleri (Landsat 8 15 metre (sol) ve Google Earth 0,5 metre (sağ))	50
Şekil 4.4. Testlerde kullanılan yükseklik verileri	51
Şekil 4.5. ERDAS LPS programında kamera sensör modelinin tanımlanması.....	52
Şekil 4.6. ENVI programında kamera sensör modelinin tanımlanması.....	52
Şekil 4.7. İstanbul 50 YKN (Sol), Ankara 25 YKN (Orta), Osmancık 12 YKN (Sağ) görüntüleri için YKN ve BDN dağılımı. (BDN'ler sarı ile işaretlenmiştir)	53
Şekil 4.8. RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyon yöntemi	54
Şekil 4.9. BND'lerdeki kaymaların yeniden hesaplanması	55
Şekil 6.1. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	68
Şekil 6.2. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	68
Şekil 6.3. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	69
Şekil 6.4. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	70
Şekil 6.5. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	72
Şekil 6.6. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	73
Şekil 6.7. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	74
Şekil 6.8. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisinin grafiksel gösterimi	75
Şekil 9.1. LPS (Leica Photogrammetry Suite) modülü	83
Şekil 9.2. Blok oluşturulma ekranı.....	83
Şekil 9.3. Kamera modeli seçim menüsü	84
Şekil 9.4. Projeksiyon ve koordinat sistemi belirleme menüsü	84
Şekil 9.5. Orthorektifikasyonu yapılacak görüntünün eklenmesi	85

Şekil 9.6. Kameranın iç parametrelerinin belirlenmesi.....	85
Şekil 9.7. Kamera sensör bilgilerinin belirlenmesi menüsü.....	86
Şekil 9.8. Kamera yönelim bilgilerinin girilmesi.....	87
Şekil 9.9. Yer çözünürlüğü bilgilerinin girilmesi (PAN).....	87
Şekil 9.10. LPS GCP seçim ara yüzü.....	88
Şekil 9.11. Referans görüntünün belirlenmesi	88
Şekil 9.12. Referans görüntünün seçilme ekranı.....	89
Şekil 9.13. SYM (DEM) görüntüsünün belirlenmesi	89
Şekil 9. 14 LPS arayüzünde GCP girilmesi-1	90
Şekil 9.15. LPS ara yüzünde GCP girilmesi-2.....	90
Şekil 9.16. LPS arayüzünde GCP girilmesi-3.....	91
Şekil 9.17. GCP’lerin özelliklerinin tanımlanması-1	91
Şekil 9.18. GCP’lerin özelliklerinin tanımlanması-2.....	92
Şekil 9.19. RMS hatasının raporlanması.....	92
Şekil 9.20. RMSE değerleri	92
Şekil 9.21. Orthorektifikasyonun çalıştırılması	93
Şekil 9.22. RMSE hataların görüntülenmesi.....	93
Şekil 9.23. ERDAS LPS proje yönetim ara yüzü	94
Şekil 9.24. Orthorektifikasyon çıktı görüntüsünün tanımlanması	94
Şekil 9.25. Referans görüntü ile orthorektifikasyon olmuş görüntünün karşılaştırılması	95
Şekil 9.26. RGB görüntünün ortorektifikasyonu için kullanılması gereken parametreler.....	95
Şekil 9.27. Yer çözünürlüğü bilgilerinin girilmesi (RGB).....	96
Şekil 9.28. ENVI Toolbox	96
Şekil 9.29. RPC oluşturulması	97
Şekil 9.30. Ortorektifikasyon yapılacak görüntünün seçilmesi	97
Şekil 9.31. Göktürk-2 görüntüsü için kamera sensör modelinin tanımlanması	98
Şekil 9.32. ASCII dosyasından GCP’lerin import edilmesi.....	99
Şekil 9.33. GCP’lerin .pts formatı.....	100
Şekil 9.34. Import edilen GCP’lerin gösterimi	100
Şekil 9.35. BDN’lerin GCP’lerden ayrılması işlemi.....	101

Şekil 9.36. GCP’lerden RPC oluşturulması	101
Şekil 9.37. Kamera modelinin ve dış yönelim bilgilerinin girilmesinin tamamlanması.....	102
Şekil 9.38. Görüntünün minimum ve maksimum yükseklik değerleri	102
Şekil 9.39. RPC tanımlama işleminin sonu.....	103
Şekil 9.40. RPC Orthorectification Workflow fonksiyonun çalıştırılması	103
Şekil 9.41. Ortorektifikasyon yapılacak görüntünün ve yükseklik verisinin seçilmesi	104
Şekil 9.42. GCP’lerin yüklenmesi.....	104
Şekil 9.43. GCP’lerin durumlarının düzenlenmesi	105
Şekil 9.44. Piksel boyutunun ve yeniden örnekleme metodunun düzenlenmesi	105
Şekil 9.45. GCP’lerin hata oranlarının gözlemlenmesi.....	106
Şekil 9.46. Ortorektifikasyon işleminin tamamlanması	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. RASAT uydusunun teknik özellikleri.....	38
Çizelge 3.2. RASAT uydu görüntülerinin görüntü işleme seviyeleri	38
Çizelge 3.3. RASAT uydusunun kamera parametreleri.....	39
Çizelge 3.4. Göktürk-2 uydusu teknik özellikleri	41
Çizelge 3.5. Göktürk-2 uydusu görüntü işleme seviyeleri.....	42
Çizelge 3.6. Göktürk-2 uydusunun kamera parametreleri	42
Çizelge 3.7. Landsat-7 ve Landsat-8 uydusunun spektral bantları karşılaştırılması.....	44
Çizelge 4.1. Test görüntülerinin özellikleri.....	49
Çizelge 4.2. ENVI programında 9 adet BND'nin metre cinsinden ortalama ve RMSE hataları.....	55
Çizelge 5.1. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM	56
Çizelge 5.2. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED.....	56
Çizelge 5.3. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER.....	56
Çizelge 5.4. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:SRTM.....	56
Çizelge 5.5. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:DTED.....	56
Çizelge 5.6. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:ASTER.....	57
Çizelge 5.7. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM	57
Çizelge 5.8. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED.....	57
Çizelge 5.9. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER.....	57
Çizelge 5.10. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:SRTM.....	57

Çizelge 5.11. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:DTED	57
Çizelge 5.12. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:ASTER	58
Çizelge 5.13. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:SRTM	58
Çizelge 5.14. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:DTED	58
Çizelge 5.15. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:ASTER	58
Çizelge 5.16. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:SRTM	58
Çizelge 5.17. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:DTED	58
Çizelge 5.18. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:ASTER	59
Çizelge 5.19. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:SRTM	59
Çizelge 5.20. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:DTED	59
Çizelge 5.21. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:ASTER	59
Çizelge 5.22. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:SRTM	59
Çizelge 5.23. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:DTED	59
Çizelge 5.24. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:ASTER	60
Çizelge 5.25. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:SRTM	60
Çizelge 5.26. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:DTED	60

Çizelge 5.27. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:ASTER	60
Çizelge 5.28. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:SRTM	60
Çizelge 5.29. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:DTED	60
Çizelge 5.30. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat8 DEM:ASTER	61
Çizelge 5.31. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:SRTM	61
Çizelge 5.32. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:DTED	61
Çizelge 5.33. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:ASTER	61
Çizelge 5.34. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:SRTM	61
Çizelge 5.35. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:DTED	61
Çizelge 5.36. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat8 DEM:ASTER	62
Çizelge 5.37. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:SRTM	62
Çizelge 5.38. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:DTED	62
Çizelge 5.39. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:ASTER	62
Çizelge 5.40. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:SRTM.....	62
Çizelge 5.41. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:DTED	62
Çizelge 5.42. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:ASTER	63

Çizelge 5.43. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:SRTM	63
Çizelge 5.44. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:DTED	63
Çizelge 5.45. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:ASTER	63
Çizelge 5.46. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:SRTM.....	63
Çizelge 5.47. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:DTED	63
Çizelge 5.48. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:ASTER	64
Çizelge 5.49. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:SRTM	64
Çizelge 5.50. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:DTED	64
Çizelge 5.51. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Google DEM:ASTER	64
Çizelge 5.52. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:SRTM.....	64
Çizelge 5.53. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:DTED	64
Çizelge 5.54. İstanbulGöktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS	
Referans:Landsat-8 DEM:ASTER	65
Çizelge 5.55. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:SRTM	65
Çizelge 5.56. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:DTED	65
Çizelge 5.57. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Google DEM:ASTER	65
Çizelge 5.58. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:SRTM.....	65

Çizelge 5.59. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:DTED	65
Çizelge 5.60. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI	
Referans:Landsat-8 DEM:ASTER	66
Çizelge 6.1. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	67
Çizelge 6.2. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	68
Çizelge 6.3. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	69
Çizelge 6.4. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	70
Çizelge 6.5. ERDAS LPS programına göre görüntülerin ortorektifikasyon	
raporları (Referans: Google Earth, YKN:50, SYM: SRTM).....	71
Çizelge 6.6. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	72
Çizelge 6.7. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	72
Çizelge 6.8. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi	
ve YKN sayısının etkisi	74
Çizelge 6.9. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans	
seçimi ve YKN sayısının etkisi.....	74
Çizelge 6.10. ENVI programına göre görüntülerin ortorektifikasyon	
raporları (Referans: Google Earth, YKN:50, SYM: SRTM).....	75
Çizelge 9.1. Göktürk-2 uydusu kamera parametreleri	86
Çizelge 9.2. RASAT uydusunun kamera parametreleri.....	98
Çizelge 9.3. Göktürk 2 uydunun kamera parametreleri	99

KISALTMALAR

ACT	Across-track
ALT	Along-track
ASTER GDEM	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
BDN	Bağımsız Denetim Noktası
CCD	Charge Coupled Device
DEM	Digital Elevation Model
DTED	Digital Terrain Elevation Data
GCP	Ground Control Point
GPS	Global Positioning System
KOH	Karesel Ortalama Hata
LPS	Leica Photogrammetry Suite
NASA	The National Aeronautics and Space Administration
NATO	The North Atlantic Treaty Organization
NGIA	ABD Ulusal Coğrafi İstihbarat Kurumu
OLI	Operational Land Imager
PAN	Pankromatik
RGB	Red-Green-Blue
RMSE	Root Mean Square Error
RPC	Rational Polynomial Coefficients
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SRTM	The Shuttle Radar Topography Mission Radiometer
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIRS	Termal Kızılötesi Sensör
TÜBİTAK UZAY	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Kurumu
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
USGS	The United States Geological Survey
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖM	Yer Örneklem Mesafesi

1. GİRİŞ

RASAT Yer Gözlem Uydusu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nün (TÜBİTAK UZAY) BİLSAT Uydusu'ndan sonra tasarladığı ikinci uzaktan algılama uydusudur. TÜBİTAK UZAY tarafından Kalkınma Bakanlığı desteğiyle tasarlanıp üretilen RASAT, 17 Ağustos 2011 tarihinde Rusya'dan fırlatılmıştır. RASAT, görüntü çekme işlevini başarıyla sürdürmektedir. RASAT Uydusundan şuana kadar 7 milyon km²'nin üzerinde görüntü çekimi yapılmıştır. 4 günlük zamansal çözünürlük ile 7,5 metre pankromatik ve 15 metre multispektral (kırmızı, mavi, yeşil) bantlarda görüntü sağlayan RASAT, süpürgeç (pushbroom) kameraya sahiptir. RASAT Uydusu'ndan çekilen görüntüler kamu kurumları ve üniversitelerimizle ücretsiz olarak paylaşılmaktadır.

Göktürk-2 İstihbarat ve Keşif Uydusu, TÜBİTAK desteği ile TÜBİTAK UZAY ile TUSAŞ işbirliği ile geliştirilmiş olup, 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'deki Jiuguan Fırlatma Üssü'nden uzaya fırlatılmıştır. Göktürk-2 Uydusu ile Türk Silahlı Kuvvetleri ile diğer kamu kuruluşlarının yüksek çözünürlüklü görüntü ihtiyacının karşılanması amaçlanmaktadır. 4 günlük zamansal çözünürlük ile 2,5 metre pankromatik ve 5 metre multispektral (kırmızı, mavi, yeşil, yakın kızıl ötesi) bantlarda görüntü sağlayan Göktürk-2, süpürgeç (pushbroom) kameraya sahiptir. Göktürk-2 Uydusu'ndan çekilen görüntülerin kamu kurumları ücretsiz paylaşımı planlanmaktadır.

Uydu görüntülerinin uzaktan algılama amaçlı kullanımında görüntülerin konuma bağlı geometrik doğruluğunun önemi gün geçtikçe artmaktadır. Uydu görüntüleri yer istasyonuna indirildiğinde hemen kullanılabilir durumda değildirler. Bu görüntüler genellikle bazı bozulmalara sahiptir ve bu nedenle konuma bağlı uygulamalarda doğrudan kullanılamazlar. Görüntülerden elde edilen konum bilgisinin doğruluğu arttıkça, bozulmalardan kaynaklanan hataların etkisi de artmaktadır (Toutin, 2003). Bu nedenle bu hataların giderilmesi gerekmektedir. Bu işleme geometrik düzeltme denilmektedir. RASAT ve Göktürk-2 uydularının görüntüleme sistemlerinde doğrusal dizi algılayıcılar kullanılmıştır. Doğrusal dizi algılayıcılar, Yükten Bağlı Ayrıştırıcı (CCD: Charge Coupled Device) elemanlarından oluşur. Yeryüzünü dik olarak görüntüleyecek şekilde uyduya konumlandırılan CCD dizi üzerine yeryüzündeki

cisimlerden gelen her bir elektromanyetik enerjiye karşılık CCD elemanında bir elektrik yükü üretilir. Böylece görüntülenme işlemi gerçekleşmiş olur. Görüntüler, gerek algılayıcıdan kaynaklı, gerekse algılanan cismin bulunduğu ortamdan kaynaklanan birtakım geometrik hatalara sahiptir. Bu hataların konumsal uygulamalarda bilinmesi ve giderilmesi gerekmektedir. Geometrik hatalar sistematik hatalar ve sistematik olmayan hatalar olarak ikiye ayrılır. Sistematik hatalar uydu fırlatılmadan önce laboratuvar ortamında belirlenerek, görüntülerin dağıtımı yapılmadan önce düzeltme işlemleri gerçekleştirilir. Sistematik olmayan hataların düzeltilmesi için yeryüzüne ait bilgilere ihtiyaç vardır. Bu hatalar CCD elemanlarının boyutlarındaki değişim, satır ve sütun yönündeki kayıklıklar, birden çok bant içeren görüntüleyici sistemlerde her bir bandın kendi arasındaki kayıklıklar, uydunun yüksekliğindeki ve hızındaki değişimler, yeryüzünün eğikliği, dünyanın dönmesi, atmosferin etkisi gibi nedenlerle uzaydan çekilen görüntülerde oluşur.

Sistematik olmayan geometrik hataların düzeltilmesi yer istasyonuna indirilen her bir görüntüye ayrı ayrı uygulanması ile gerçekleştirilir. Geometrik hata içeren görüntülerin doğruluğu daha önceden bilinen yer koordinat sistemi ile ilişkilendirilmiş bir referans görüntüye göre düzeltilmesi gereklidir. Bu tür sistematik olmayan hatalar için görüntüde homojen olarak dağılmış, konumu belirgin bina köşeleri, yol kesişimler, keskin görünen detaylardan yer kontrol noktaları (GCP) ile bu noktaların yer koordinatları referans görüntüden bağıntı kurularak giderilir. Uydu görüntülerinde meydana gelen sistematik olmayan x ve y yani yatay eksenindeki hatalar için daha önceden geometrik düzeltmesi yapılmış referans görüntüler, z yani dikey eksenindeki geometrik hataların düzeltilmesi için ise referans olarak sayısal yükseklik modelleri (DEM) kullanılarak geometrik hatalar düzeltilir. Uydu görüntülerindeki sistematik olmayan geometrik hataların yer koordinat sistemine ilişkilendirilmesi ile görüntülerden hassas konum bilgisinin elde edilmesi yöntemi; ortogörüntü üretimi, georeferanslama, georektifikasyon, geokonumlama, ortorektifikasyon olarak adlandırılır.

Bu çalışmada, RASAT ve Göktürk-2 uydularından çekilen görüntülerin uzaktan algılama amaçlı kullanımına başlamadan önce doğruluğu en yüksek şekilde yer koordinat sistemi ile ilişkilendirilmesinin yapılması için kullanılan

referans verisinin çözünürlüğünün etkisi, yükseklik verisinin hassasiyetinin etkisi, toplanan YKN sayısının etkisi ve programların performanları karşılaştırılacaktır.

Türkiye'nin milli yer gözlem uyduları olan RASAT ve Göktürk-2'den çekilen görüntülerin sistematik olmayan geometrik hataların düzeltilmesi için uyduların fiziksel kamera modelleri kullanılacaktır. 2 adet ticari uzaktan algılama yazılımında (ERDAS LPS ve ENVI) farklı çözünürlüklerdeki referans görüntülerinden farklı sayılarda yer kontrol noktaları toplanarak, farklı çözünürlüklerdeki sayısal yükseklik verileri ile geometrik düzeltmesi yapılacaktır. Geometrik düzeltmesi yapılacak RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri farklı coğrafi özelliklere sahip alanlardan seçilecektir. Referans görüntü olarak Google Earth ve Landsat 8 görüntüleri kullanılacaktır. Sayısal yükseklik modeli olarak SRTM, ASTER ve DTED verileri kullanılacaktır. Bu referans görüntülerden her bir geometrik düzeltme için 50, 25 ve 12 adet yer kontrol noktası ile 9 adet bağımsız denetim noktası toplanacaktır. 180 farklı varyasyonda yapılacak ortorektifikasyon bulguları sonucunda ilk önce referans görüntü olarak yüksek çözünürlüklü Google Earth görüntüleri kullanılarak SYM etkisinin YKN sayısı ile ilişkisi araştırılacaktır. Daha sonra referans görüntünün çözünürlüğünün ortorektifikasyon başarımına YKN sayısının etkisi araştırılacaktır. Ayrıca ERDAS ve ENVI programlarının ortorektifikasyon sonucunda verdikleri rapor sonuçları yorumlanacak ve diğer bulgularla karşılaştırılacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu tez çalışmasında Türkiye'nin milli yer gözlem uyduları olan RASAT ve Göktürk-2'den çekilen görüntülerin sistematik olmayan geometrik hataların düzeltilmesi için uyduların fiziksel kamera modelleri kullanılacaktır. 2 adet ticari uzaktan algılama yazılımında (ERDAS LPS ve ENVI) farklı çözünürlüklerdeki referans görüntülerinden farklı sayılarda yer kontrol noktaları toplanarak, farklı çözünürlüklerdeki sayısal yükseklik verileri ile geometrik düzeltmesi yapılacaktır. Geometrik düzeltmesi yapılacak RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri farklı coğrafi özelliklere sahip alanlardan seçilecektir. Referans görüntü olarak Google Earth ve Landsat 8 görüntüleri kullanılacaktır. Sayısal yükseklik modeli olarak SRTM, ASTER ve DTED verileri kullanılacaktır. Bu referans görüntülerden her bir geometrik düzeltme için 50, 25 ve 12 adet yer kontrol noktası ile 9 adet bağımsız denetim noktası toplanacaktır. Çalışma kapsamında incelenen ve yararlanılan kaynakların özetleri aşağıda sunulmuştur.

Yüksel (Yüksel, 2007) yapmış olduğu çalışmada, RASAT uydusunun Türkiye'nin ilk milli yer gözlem uydusu olduğunu, uydunun BİLSAT uydusundan edinilen bilgi ve altyapı ile Türkiye'de tasarımının ve üretiminin yapıldığını belirtmişlerdir. RASAT uydusunun alt sistemleri ve teknik özellikleri hakkında detaylı bilgi vermişlerdir.

Kahraman ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada, RASAT uydusunun Türkiye'de üretilen ilk yer yer gözlem uydusu olduğunu, uydu görüntülerinin uzaktan algılama amaçlı etkin bir şekilde kullanılabilmesi için uydudan indirilen ham görüntülerin geometrik ve radyometrik düzeltmelerinin yapılması gerektiğini söylemişlerdir. RASAT uydusunun optik ve gözlem uydusu olduğunu, güneşe eş zamanlı dairesel yörüngeye sahip 700 km irtifada uçtuğunu, uydunun doğrusal dizi algılayıcılarından pankromatik bandının 7,5 metre, kırmızı, yeşil ve mavi bandının ise 15 metre yersel çözünürlüğe sahip süpürçek kameraya sahip olduğunu belirtmişlerdir. RASAT uydusunun 3 eksenle kontrol edilerek uydudan 4 günlük yeniden ziyaret zamanı ve 30 km'lik şerit genişliği ile 960 km uzunluğunda görüntü alınabildiği, yörünge özelliği sebebiyle dünyanın her yerinden görüntü çekilebildiği bilgisini vermişlerdir. TÜBİTAK UZAY tesislerinde bulunan yer istasyonundan kontrol edilen uydunun, günde 4 kez

Türkiye üzerinden geçtiğini, günlük ortama haberleşme süresinin 42 dakika olduğunu söylemiştir. Bunun dışında kutup kuşağı içinde yer alan Svalbard Adası'nda da uzaktan kontrol edilebilen yedek yer istasyonun bulunduğunu belirtmiştir. RASAT uydusunun bu özellikleriyle ülkemizin özellikle kamu kuruluşlarının ve üniversitelerin uydu görüntü ihtiyacını karşılamayı hedeflediklerini ve görüntülerin ücretsiz paylaşılabilceği bilgisini vermiştir. RASAT uydunun görüntü işleme seviyelerinden de bahseden Kahraman, hedeflerinin uzaktan algılama kullanıcısına radyometrik ve geometrik düzeltmesi yapılmış görüntüleri sunmak olduğunu söylemiştir.

Erdoğan ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada, RASAT Uydusunun görüntülerinin geometrik doğruluğunu araştırmışlardır. Geometrik düzeltme amacıyla ERDAS LPS (Leica Photogrammetry Suite) yazılımını kullanmışlardır. Yazılımda RASAT uydu modelinin tanımlanmamış olması nedeni ile uydunun kamera modelinin parametrelerini kullanmışlardır. Uydu modeli olarak “generic pushbrom” modelini seçmişlerdir. RASAT uydusunun PAN bandına ait kamera parametrelerini yazılıma tanıtmışlardır. Dış yönelme polinom katsayıları yazılım dokümanında tavsiye edildiği şekilde X, Y, Z ve kappada 2'nci derece polinom, phi ve omegada 0'ıncı derece polinom olarak tanıtmışlardır. 40 adet yer kontrol noktasını 45 cm çözünürlüklü ve 2 metreden yüksek doğruluklu hava fotoğraflarından toplamışlardır. Yükseklik bilgisi olarak da 30 metre çözünürlüklü sayısal yükseklik verisi kullanmışlardır. Geometrik düzeltmede iki yöntem uygulamışlardır. İlk yöntemde 120 km şerit halindeki RASAT görüntüsü tek parça olarak ve 40 adet yer kontrol noktası ile dengelemişlerdir. Daha sonra görüntünün ortorektifikasyonu yapılmış ve 30 adet bağımsız denetim noktasıyla kontrol etmişlerdir. İkinci yöntemde şerit halindeki RASAT görüntüsünü 40 km olarak 3 parçaya bölmüşler ve her parça için referans görüntüden 40 adet yer kontrol noktası ile dengeleme yapmışlardır. Dengelenen parçaların ortorektifikasyonu yapılmış ve 30 adet bağımsız denetim noktası ile kontrol etmişlerdir. Yapılan dengelemenin iç doğruluğu oldukça yüksek olduğunu, üretilen ortofotoların 30 noktada kontrol edilmesi sonucunda x ve y yönünde 1 piksele yakın doğruluk elde edildiğini, küçük parçalar halinde yapılan geometrik düzeltmenin ise özellikle y yönünde doğruluk artışı sağladığını göstermişlerdir. Sonuç olarak orta çözünürlüklü uydu görüntülerinde genellikle piksel altı doğruluklar elde

edilebildiğini, ancak bu çalışmada elde edilen doğruluk bir pikselin biraz üstünde olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak da RASAT uydusunun yörünge bilgilerinin eksikliklerinden kaynaklı olabileceğini değerlendirmişlerdir. Ancak bu doğruluk seviyesinin uydu model tanımlamasında yapılacak değişiklikler ile bir miktar daha yükseltilebileceğini belirtmişlerdir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda model parametre değişiklikleri ve yer kontrol sayısına bağlı olarak elde edilecek doğrulukların araştırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Erdoğan ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada, yer kontrol sayısı ve dağılımına göre RASAT uydu görüntülerinin geometrik düzeltme doğruluğunu araştırmışlardır. Geometrik düzeltme için ERDAS LPS (Leica Photogrammetry Suite) yazılımını kullanmışlardır. Yazılımda RASAT uydu modelinin tanımlanmamış olması nedeni ile uydu modeli olarak “generic pushbroom” olarak seçmişlerdir. RASAT uydusunun PAN bandına ait odak uzaklığı, piksel boyutu gibi parametreleri tanımlamışlardır. Bu model ile tarayıcı sistemle çalışan algılayıcılarla elde edilen görüntülerin dış yöneltme elemanları ve polinomların hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Diğer bir değişle, konum (X, Y, Z) ve dönüklüklerin (kapa, fi, omega) kaçınıcı derece bir polinom ile hesaplanabileceğinin vurgusunu yapmışlardır. Polinom katsayıları arttıkça hesaplanacak bilinmeyen sayısı ve bu bilinmeyenleri çözmek için ihtiyaç duyulan yer kontrol sayısının miktarının artacağını belirtmişlerdir. Çalışmada kullandıkları RASAT görüntüsü X yönünde 30 km, Y yönünde 120 km uzunluğundadır. RASAT uydusunun yıldız kamerasının çalışmaması nedeniyle istenildiği gibi uydunun yörünge bilgileri elde edilememektedir. Bu da uzun şeritler halindeki RASAT görüntülerinin geometrik düzeltmesinde özellikle Y yönünde doğruluğu düşürmektedir. Bu etkiyi azaltmak için görüntü 30X45 km’lik bindirmeli 3 parçaya bölünerek blok halinde dengelenmiş ve Y yönündeki doğruluklarda artış sağlanmıştır. Y yönündeki doğruluk artışının model polinom katsayıları değiştirilerek artırılması bu çalışmada hedeflenmiştir. Bunun için de en uygun polinom kaysayılarının kappa’da 0’ıncı derece polinom, fi’de 1’inci derece polinom, X,Z ve omega’da 2’nci derece polinom, Y’de 3’üncü derece polinom olduğunu tespit etmişler ve dengelemeyi bu parametreleri kullanarak yapmışlardır. Dengelemede görüntü üzerine homojen dağılmış 8, 11, 15, 20, 30 ve 50 yer kontrol noktası kullanmışlardır. Yer kontrol noktaları için hava fotoğraflarından

üretilmiş 45 cm çözünürlüklü ve artı eksi 2 metreden yüksek doğruluklu ortofotoları kullanmışlardır. Sayısal yükseklik modeli olarak 30 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modelini kullanmışlardır. Daha sonra görüntülerin her YKN kombinasyonu için ayrı ayrı ortorektifikasyonu yapılmış ve üretilen ortogörüntülerden 30 adet bağımsız denetim noktası sonuçları değerlendirmişlerdir. Farklı YKN sayılarına göre üretilen 6 adet ortogörüntünün 30 adet bağımsız denetim noktasında elde edilen sonuçlara x ve y yönlerindeki ortalama hata, mutlak ortalama hata, karesel ortalama hata ve planimetrideki karesel ortalama hatalar ölçülmüştür. 8 YKN kullanılması durumunda planimetride KOH 18 metre civarında bulunmuştur. 50 YKN kullanılması durumunda ise planimetrideki KOH iki kat iyileşerek 9 metre civarına düşmüştür. Elte edilen sonuçlar 15 ve daha fazla YKN kullanılması durumunda X ve Y yönünde ortalama hataların 0,5 piksel, karesel ortalama hataların ise 1 piksel civarında olduğunu göstermektedir. Ancak Y yönündeki hatalar X yönüne göre daha yüksektir. 8 YKN noktasına göre 11 ve 11 YKN'ye göre 15 YKN kullanılması durumunda doğruluklarda belirgin artış olmaktadır. Ancak 15 YKN'dan sonra YKN sayısındaki artış doğruluklarda belirgin bir artışı sağlamadığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak RASAT uydu görüntülerinde YKN sayısını ve dağılımını değiştirerek ortogörüntü doğruluğuna etkisini araştırmışlardır. 30 bağımsız denetim noktası ile ortogörüntüler karşılaştırılmış ve hatalar hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen ortalama hatalar 0,5 piksel civarında planimetrede karesel ortalama hatalar ise YKN sayısı ve dağılımına göre yaklaşık 1-2 piksel aralığındadır. Sonuçlar X ve Y yönünde en fazla 7 metre civarında bir doğruluğa ulaşılabilceğini, Y yönündeki hataların X yönüne göre daha yüksek olduğunu, YKN sayısı artırılarak doğruluğun artırılabilceğini, ancak YKN sayısının 15'den fazla olmasının doğrulukta belirgin bir artış sağlamayacağını belirtmişlerdir.

Topan (Topan, 2004) yapmış olduğu “Yörünge Düzeltmeli IRC-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, sözü geçen görüntü için farklı YKN-BDN kümeleriyle parametrik ve parametrik olmayan matematiksel modeller kullanılarak verinin analizini yapmıştır. Kontrol noktalarını, 1:25000 ölçekli temel topoğrafik haritalardan; 1:1000, 1:2000 ve 1:4000 ölçekli yol

güzergah haritaları ile 1:1000 ve 1:5000 ölçekli haritalardan ve GPS gözlemleriyle elde etmiştir. Yararlanılan parametrik olmayan modeller için, MATLAB yazılımını kullanmış ayrı ayrı makrolar oluşturmuştur. Parametrik modellerden Satellite Orbital Modeling, ticari bir yazılım olan PCI Geomatica OrthoEngine V 9.1.3 içerisinde yer almaktadır. Diğer yazılım CORIKON ise, Hannover Üniversitesi program sistemi BLUH'un bir alt parçasıdır. Geometrik doğruluk analizine ek olarak görüntünün taşıdığı bilgi içeriği benzer nitelikteki uydu görüntüleriyle karşılaştırmalı olarak araştırmış ve hangi tür detayların çıkarılabileceği üzerinde durmuştur. Topan ve ark., (2004) ; IRC-1C uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesi için 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan yer kontrol noktası ve bağımsız denetim noktası toplamıştır. Bu noktalar özellikle yol kesişimleri ve köprüler gibi detaylardan çıkarmıştır. Bu tür bir kontrol noktaları ile kümesiyle uydu görüntüsünün geometrik doğruluğu x ve y yönünde yaklaşık 2,5-3 piksel düzeyinde elde etmiştir. Bu kaba doğruluğun sebebi olarak, haritaların kendi iç doğruluklarının ve görüntünün piksel boyutunun büyük olması ve nokta sayısallaştırmadan gelen hatalar olarak göstermiştir. Yol güzergâhlarından ve yerleşim yerlerine ait haritalardan derlenen ikinci kontrol noktası kümesi, 1:25.000 ölçekli haritalardan elde edilen nokta ağı kadar uygun bir dağılımda olmamasına rağmen elde edilen doğruluk değerleri, birinci veri kümesinden daha iyi çıkmıştır. Hata oranını 1,5-2 piksel düzeyinde elde etmiştir. GPS gözlemleri ile elde edilen konum doğruluğu, hem YKN hem de BDN'ler için her iki ekseninde ortalama 1,5-2 piksel düzeyinde ölçmüştür. Çeşitli yöntemlerle geometrik düzeltilmesi yapılan IRS-1C/1D görüntüsü için ulaşılan en iyi doğruluğun 1 pikselin üzerinde kaldığını söylemektedir. Yörünge düzeltilmesi getirilmiş ve 70x70km²'lik bir alanı örten görüntü için piksel altı geometrik doğruluk düzeyine ulaşamamıştır.

Topan ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada, IRS-1C düzey 1B görüntüsünün geometrik analizinin sensör yöneltme modelleriyle ve değişik referans verileriyle irdelenmiştir. Örnek çalışmayı Zonguldak iline ait 5m yer piksel büyüklüklü yörünge düzeltilmesi yapılmış IRS-1C pankromatik görüntüsünün sağladığı konum doğruluğu değişik yersel verilerle ve matematiksel modellerle incelemiştir. Değerlendirme aşamasında gerekli olan yer kontrol noktaları (YKN) ve bağımsız denetim noktaları (BDN) 1:25.000 ölçekli

topoğrafik haritalardan, 1:1000, 1:2000, 1:4000, 1:5000 ölçekli haritalardan ve GPS gözlemlerinden oluşan üç ayrı küme ile çalışılmıştır. Bu YKN-BDN kümeleri, parametrik olmayan üç model (afin, yükseklik düzeltmeli afin ve dolaysız doğrusal dönüşüm) ve parametrik modelleri kullanarak incelemişlerdir. Kümelerden elde edilen konum doğruluklarını karşılaştırdıklarında, 1:25.000 ölçekli haritaların en düşük, GPS gözlemlerinin ise en yüksek konum doğruluğu verdiğini görmüşlerdir. Ancak kullanılan tüm kümelerden elde edilen YKN ve BDN'lerinde alt piksel doğruluğuna ulaşamamışlardır.

Topan ve ark. (2007) ortogörüntü üretiminde yer kontrol noktası seçimi ve sonuçlara etkisi konusunda yaptıkları çalışmada, ortogörüntülerin üretilmesinde görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sisteminin ilişkilendirilmesi ve yeryüzündeki farklılıklardan kaynaklanan hatanın düzeltilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır. Hava fotoğraflarında yer kontrol noktalarının yere tesis edildiğini, fakat uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesinde referans bir görüntüden veya GPS ile yerden yer kontrol noktaları toplanması gerekliliğini belirtmişlerdir. Zonguldak bölgesinde yaptıkları çalışmada, SPOT-5 ve IRS-1C pankromatik görüntüler kullanarak; 1:25000'lik topoğrafik haritalardan yer kontrol noktaları ile görüntülerin ortorektifikasyonunu yapmışlardır. Ayrıca GPS ile araziden topladıkları yer kontrol noktaları ile aynı görüntüler ortorektifiye edilmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. 1:25.000 ölçekli haritalardan derlenen YKN'ları kullanıldığında 1 pikselden büyük, GPS gözlemlerine dayalı YKN'ları kullanıldığında ise 1 pikselden daha az doğruluk sonuçlarına ulaşmışlardır. Uygun bir geometrik yapıya sahip olmayan, dolayısıyla görüntüde ve arazide seçiminde güçlük çekilen noktaların uyumsuz ölçü testiyle uygun YKN olmadığını kanıtlamışlar.

Topan ve Maktav (2010) yapmış oldukları çalışmada, uydu görüntülerinden konum bilgisi elde edebilmek için, görüntü koordinat sistemi ile konum bilgisinin elde edildiği koordinat sistemi arasındaki geometrik ilişkinin sağlanması gerektiğini söylemişlerdir. Bu ilişkinin sağlanmasında parametrik ve parametrik olmayan iki tür matematik modelin kullanıldığını, parametrik modellerde görüntü ve yer koordinat sistemi arasındaki gerçek geometrik ilişkiyi dikkate alınırken, parametrik olmayan modellerde ise sadece yer kontrol noktaları kullanıldığını belirtmişlerdir. Parametrik modellerde uydunun iç ve dış yöneltme

parametrelerinin dikkate alınarak yer kontrol noktaları ile yapılan geometrik düzeltmelerin daha yüksek doğruluk sağlandığını göstermişlerdir. Ancak günümüzde parametrik olmayan modellerin daha çok kullanıldığını, bunun sebebinin ise parametrik modellerin ihtiyaç duyduğu parametrelerin çoğunun görüntü satan/dağıtan şirketler tarafından kullanıcılara sunulmadığını söylemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, görüntüleme geometrisi, matematiksel model ve dengeleme yöntemlerinden bahsetmişlerdir. Doğrusal dizi görüntüleme yönteminin son yıllarda uzaktan algılama uydularında diğer çerçeve sistemlere göre daha kolay üretilebilen Yükten Bağlı Ayrık (CCD) çoğunlukla tercih edildiğini ve doğrusal dizi algılayıcılarla elde edilen görüntülerin her bir satırı birbirinden farklı dış yöneltme parametrelere sahip olduğunu ve parametrik modellerde bu durumun dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. GeoSpot isimli Matlab ortamında geliştirdikleri bir yazılımla SPOT-5 HRG doğrusal dizi görüntüsünün parametrik bir model kullanarak demet dengeleme ve görüntülerin konum bilgisi elde edilmesini sağlamışlardır.

Saroğlu ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada, İstanbul-Avrupa yakasını içeren farklı mekânsal çözünürlüğe sahip, IRS 1C (5,8m), SPOT P (10m) ve Landsat 5 TM (30m) görüntülerinin, DGPS ve 1/25000 ölçekli haritalardan elde edilen koordinat değerlerini kullanarak geometrik dönüşümü yapmışlardır. Dönüşüm için birinci derece polinom eşitlikleri ve farklı sayıda yer kontrol noktaları kullanmışlardır. Her bir dönüşümün iç doğruluk değerini belirlemek amacıyla dönüşüme ait karesel ortalama hata değerini hesaplamışlardır. Dönüşümde kullanılan modelin doğruluğunu analiz etmek amacıyla, yer kontrol noktalarından bağımsız 12 adet test noktası seçmişlerdir. Test noktalarına ait koordinat değerleri statik GPS ölçmelerinden elde edilmiş ve bu noktaların koordinat değerleri, dönüşüm sonucunda elde edilen koordinat değerlerini karşılaştırmışlar, her bir dönüşüm için dış doğruluk değeri hesaplanmış ve dış doğruluğa etki eden faktörleri belirlemişlerdir. Yapılan dönüşümler sonucunda elde edilen iç ve dış doğruluk değerlerini incelediklerinde, iç doğruluk değerinin geometrik dönüşüm sonucunda görüntünün tümü için geçerli olmadığı dış doğruluk değerlerini hesaplanarak belirlemişlerdir.

Temiz ve Doğan (2005) yapmış oldukları çalışmada, uydu görüntülerinin rektifikasyonundan sonra radyometrik değerlerin yeniden örneklenmesini

anlatmışlardır. Görüntülerin geometrik düzeltmesi için makalenin yazarları tarafından Borland C++ Builder platformunda Restore 1.0 isimli bir yazılım geliştirmişlerdir. Geometrik hataların düzeltmesinde en doğru sonuçların sensör modellerinin fiziksel parametrelerinin bilinmesi ile olacağını söylemişlerdir. Görüntülerin resim koordinatından, gerçek dünya koordinatlarına dönüştürülmesi işlemine görüntü rektifikasyonu olduğunu söyledikten sonra, görüntü rektifikasyonu için uygulanan üç yöntemden bahsetmişlerdir. Bunların polinomal rektifikasyon, projektif rektifikasyon ve diferansiyel rektifikasyon olduğunu söylemişlerdir. Bu tekniklerden ilk iki tanesinin algılayıcı sistemlerin sensör dizilerinin dizilişlerini, iz düşüm geometrisini ve dış yöneltmesini hesaba katmadan, görüntü ve orto-foto arasında var olduğu düşünülen analitik dönüşümler gerçekleştirildiğini ve sorunun yaklaşık çözümler olarak kabul edildiklerini, buna rağmen yaklaşık çözümlerin, düşük geometrik duyarlılıklı uydu görüntülerinin işlenmesinde yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Üçüncü yani diferansiyel rektifikasyon yönteminin ise, görüntüleme sisteminin fiziksel gerçekliğini iz düşüm geometrisinin matematiksel bağıntıyla yorumlayan ve yükseklik farklarından kaynaklanan geometrik bozulmaları da modelleyip düzelden yaklaşım olduğunu söylemişlerdir.

Büyüksalih (1999) yapmış olduğu çalışmada, son teknoloji uydu görüntüleme sistemlerinde yoğunlukla kullanılan doğrusal dizin (pushbroom) tarayıcıları incelemiş ve bu sistemlerin harita yapım amaçlı kullanımlarında sağlayacakları doğruluk düzeylerini ortaya koymuştur. Doğrusal dizini oluşturan her bir dedektörün boyutunun, merceğin odak uzaklığı ile birlikte, tek bir piksele karşılık gelen her bir yer elemanının boyutunu belirlediğini söyleyen yazar, her bir tarama satırının kaydında dedektör elemanları arasında bulunan sabit ilişkiden dolayı, daha yüksek geometrik bütünlüğe sahip olduğunu belirtmiştir.

Kaya ve ark. (2002) yapmış oldukları çalışmada, uydu görüntülerinin geometrik düzeltmelerinde sıklıkla kullanılan standart 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların artık güncelliğini kaybettiğini belirtmişlerdir. Geometrik düzeltme işleminde iki yaklaşımın olduğunu, birinci yaklaşımda sistematik olan geometrik hataların matematiksel yöntemlerle modellenerek düzeltme yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. İkinci yaklaşımda ise görüntüde homojen olarak dağılmış, konumu belli yol kesişimleri, farklı kıyı çizgisel özellikleri, keskin görünen

detaylar gibi yerlerden yer kontrol noktaları ile bu noktaların harita karşılıkları arasında matematiksel bağıntı kurularak giderilebileceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuç kısmında yazarlar; 1:25.000 ölçekli haritalar kullanarak rektifikasyon yapılabileceğini, ancak istenilen doğruluğu yakalayabilmek için çok yer kontrol noktası alınması gerektiğini, uydu görüntülerinin çözünürlüğü artıkça GPS verilerinin kullanılmasının zorunluluk olacağını vurgulamışlardır. Ancak GPS yöntemi ile yeryüzü koordinatları ne kadar hassas ölçülürse ölçülsün, noktaların uydu görüntüsü ile eşleşmesinde uydu görüntü çözünürlüğünün çok önemli bir faktör olduğunu belirlemişlerdir.

Hoja ve ark. (2008), Erdas Imagine, ENVI, PCI ve Xdibias uzaktan algılama yazılımlarında IKONOS ve SPOT görüntülerinin RPC ve kamera modeli kullanılarak ortorektifikasyon başarımını test etmiştir. Bütün yazılımlar benzer geometrik doğruluk verdiğini, yakın gelecekte referans verilerden otomatik GPC ve ICP toplanmak suretiyle geometrik düzeltme işlemlerinin çok kolay ve yüksek doğrulukta olacağını belirtmiştir.

Junfeng ve Jingfeng (2012) IKONOS uydusunun görüntülerinin ortorektifikasyon başarımında farklı çözünürlükteki SYM'nin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarından IKONOS Pan görüntülerinin RPC modelini ve topoğrafik haritalardan elde ettikleri 5 metre çözünürlükte 1/10.000 ve 25 metre çözünürlükteki 1/50.000 ölçekli SYM'ni kullanmışlardır. Görüntülerde 33 YKN ve 25 BDN kullandıkları testlerde 5 metre çözünürlükte SYM ile yapılan ortorektifikasyon işleminde RMSE 1.554, 25 metre çözünürlükteki SYM ile yapılan ortorektifikasyon işleminde ise RMSE 2.572'lik doğruluk bulmuşlardır.

Cheng ve Toutin (2001) IKONOS ve EROS-A1 uydu görüntülerini basit polinom, RPC ve sensör modelini kullanarak 30 ve 7 YKN kullanarak ortorektifikasyon başarımlarını karşılaştırmışlardır. IKONOS görüntülerinde 30 YKN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyonda en yüksek konumsal doğruluğu RPC ile 7 YKN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyonda en yüksek konumsal doğruluğu da sensör modeli kullanarak elde etmişlerdir. EROS-A1 görüntülerinde 23 YKN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyonda en yüksek konumsal doğruluğu RPC ile 7 YKN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyonda en yüksek konumsal doğruluğu da sensör modeli kullanarak elde etmişlerdir.

Toutin ve Chenier (2001) IKONOS, EROS, SPOT-5 ve QuickBird uydu görüntülerinin ortorektifikasyonunu hava fotoğraflarından, 1/50000 ölçekli topoğrafik haritalardan, GPS'lerden ve DGPS'lerden elde ettikleri YNK ile test etmişlerdir. En yüksek konumsal doğruluğu DGPS ile topladıkları YKN ile sağlamışlardır.

Toutin (2001) Ikonos görünlerinin dem ile birlikte geometrik düzeltme işlemlerini anlatmıştır. 10kmx10km'lik yedi farklı test bölgesinde Ikonos uydusundan alınan PAN görüntülerini 30, 56, 33, 23, 112, 30, 70 GCP ile ortorektifikasyonunu yapmıştır. Çalışmasında 5 metre hassasiyeti olan DEM kullanmıştır.

Toutin (2004) uydu görüntülerinin geometrik düzeltme işlemlerindeki modellerden, kullanılan algoritmalarından ve metodlardan bahsetmiştir. Uydu görüntülerinin neden orto düzeltmesinin yapılması gerektiğini, görüntülerin orto düzeltmesinin yapılmaması durumunda CBS projelerinde kullanılamayacağını söylemiştir. Landsat, SPOT, QuickBird, IKONOS uydularında kullanılan geometrik düzeltme algoritmaları ve metodları hakkında bilgiler vermiştir.

Sertel ve ark. (2007) farklı uydu sensörlerinin geometrik düzeltme doğruluklarını karşılaştırmışlardır. Uydu sensörlerinin sistematik ve sistematik olmayan geometrik hatalar içerdiğini belirtmişlerdir. IRS 1D Pan, SPOT Pan ve Landsat TM görüntülerini 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalardan ve DGPS'lerden toplanan YKN ile ortorektifikasyon başarımını test etmişlerdir. Değişik YNK sayısı ve değişik YNK dağılımına göre yapılan testlerde DGPS ile toplanan YNK ile gerçekleştirilen ortorektifikasyon sonuçlarının başarımı daha yüksek çıkmıştır.

A.Aguilar ve ark. (2013) GeoEye-1 ve WorldView-2 pankromatik bantlarının ortorektifikasyon işlemlerinde farklı YNK ile yapılan test sonuçlarını incelemişlerdir. Az sayıda DGPS ile toplanan YNK ile yüksek doğrulukta başarımlar sağlanmıştır. Sensör modelleri RPC'lerden sağlanmıştır.

Küpcü ve ark. (2014) RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyon başarımına, refeans ve sayısal yükseklik modeli seçiminin etkisini araştırmışlardır. ERDAS Imagine LPS yazılımı ile yapılan ortorektifikasyon işlemlerinde test görüntüleri üzerinde 12, 25, ve 50 adet YKN'nin etkisini değişik referans görüntüleri üzerinde, farklı sayısal yükseklik

verileri kullanarak incelemişlerdir. RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinde yüksek sayıda YKN ile kullanılan SYM'nin etkisinin azaldığını, daha az sayıda YKN ile yapılan ortorektifikasyon sonucunda DTED SYM'nin daha hassas konum doğruluğu sağladığını söylemişlerdir.

Ok ve ark. (2005) BİLSAT görüntülerini kamera modeli kullanılarak ve basit geometrik register modeli kullanarak ortorektifiye etmişler ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında DEM olarak ASTER GDEM kullanılmıştır. Basit geometrik model ile yapılan ortorektifikasyon işleminde RMS error 3 pikselin üstünde çıkmıştır. Kamera modeli kullanılarak yapılan ortorektifikasyon işleminde ise RMS error 0.61 ile 1.09 piksel arasında çıkmıştır.

Ok (2007) BİLSAT görüntüsünün LANDSAT ETM görüntüsü ile yarı otomatik yöntemlerle register edilmesini araştırmıştır. Çalışmasında 3 farklı bölgeye ait BİLSAT görüntüsü kullanmıştır. GCP'leri LANDSAT ETM görüntülerinden, ICP'leri 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan toplamıştır. DEM olarak 90 metre çözünürlüklü SRTM kullanmıştır. ERDAS Imagine programı kullanarak GCP ve ICP'leri export etmiştir. Yer kontrol noktalarının ve bağımsız denetim noktalarının karesel ortalama hatalarını ölçtüğü çalışmada bir piksel ve altı hassasiyet sağlamıştır.

Jacobsen ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada yüksek çözünürlüklü optik algılayıcıların yönelimi için geometrik modelleri araştırmışlardır. Uyduların üzerlerinde yönelimi belirleyici GPS ve yıldız kamerası gibi sistemler olduğunu, bu sistemlerin hassasiyetine göre yönelim bilgilerin daha doğru hesaplandığını, ve bu sayede çekilen görüntünün daha yüksek doğruluklu geometrik modeli oluşturulabildiğini belirtmişlerdir.

Niu ve ark. (2004) yapmış oldukları çalışmada yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünün geometrik model oluşturulması ve fotometrik işlemler konusunu araştırmışlardır. Scale ve Translation model, Affine model ve Second-Order Polynomial modelleri arasındaki farkları ortaya koymuşlardır.

Eltahamy ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada uydu görüntülerinin geometrik doğruluğuna yer kontrol noktalarının yerleri ve dağılımının etkisini araştırmışlardır. Uydu görüntülerinde meydana gelen sistematik ve sistematik olmayan geometrik bozulmalardan bahsetmişlerdir. İki adet aynı özelliklerdeki görüntü üzerinde GCP'ler toplayarak geometrik düzeltme yapmışlardır. Birinci

görüntüdeki GCP'ler görüntü yüzeyine homojen dağılmayan ve kötü lokasyonlu yerlerden alınan, ikinci görüntüde ise GCP'ler görüntü yüzeyine homojen bir şekilde dağılmış ve düzgün lokasyonlu yerlerden toplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında ikinci görüntü ile yapılan geometrik düzeltmenin çok daha yüksek doğruluk verdiği görülmüştür.

Mercer ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada STAR-3i sistemi ile üretilen IFSAR DEM verisi ile IKONOS ve QuickBird uydu görüntülerini ortorektifikasyonunu gerçekleştirmişler ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kamera katı modelleri üzerinde PCI Geomatica yazılımı kullanılarak yapılan ortorektifikasyonda görüntülerde 28 GCP, 15 ICP toplanmıştır. Ortorektifikasyon sonucunda 1 piksel ve 1 piksel altında başarımlar elde edilmiştir.

Subramanian ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada farklı uydulardan alınmış görüntülerin ERDAS ve PCI yazılımları ile oluşturulan DEM'lerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada ASTER, IRS 1C, SPOT ve Radarsat verileri kullanılmıştır. Stereo görüntüler için Radarsat'da 35 GCP, ASTER'de 20 GCP, IRC-1C'de 10 GCP ve SPOT'da 22 GCP toplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda stereo görüntülerden iyi kalitede DEM verileri elde edilmiştir. GCP'lerin dağılımı ve sayısı dem kalitesini etkilemektedir. En iyi sonuçlar ASTER görüntüsünden elde edilen DEM'de çıkmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

Yapılan tez çalışmasının kuramsal temeller bölümünde uzaktan algılama, algılayıcılar, pasif ve aktif sistemler, elektromanyetik enerji, uydu ile ilgili temel kavramlar, yörüngeler, çözünürlük kavramı, yer gözlem uyduları, yer gözlem uydularının genel özellikleri, RASAT ve Göktürk-2 uydularının özellikleri, örnek ticari optik uyduların özellikleri ve geometrik düzeltme ve geometrik düzeltme için kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

3.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, yeryüzünün ve yer kaynaklarının incelenmesinde onlarla fiziksel bağlantı kurmadan kaydetme ve inceleme tekniğidir. Yer ile herhangi bir temas olmaksızın yerin çeşitli özelliklerinin tespiti işidir.

Uzaktan algılama kısa bir tanım yapılacak olursa, fiziksel temas olmadan cisimler hakkında bilgi almaktır. Bu iş için temel şey enerjidir. Enerji olmadan algılama yapmak imkansızdır. Nasıl ki doğadaki tüm olaylar bir enerji vasıtasıyla gerçekleşiyorsa uzaktan algılamada bu şekilde enerji vasıtasıyla gerçekleşir. Uzaktan algılamanın anlaşılabilmesi için kendi beş duyumuzun algı özellikleri kısaca olsa da bilmekte yarar vardır. Gözlerimiz görüş alanına düşen tüm cisimleri alır ve değerlendirip tanımlaması için beyine gönderir, beyinde bunları değerlendirip algının tamamlanmasını sağlar. Aynı şekilde kulak da etraftan yayılan ses dalgalarını toplayarak anlamlandırması için beyne gönderir ve beyinde tanımlama işlevini böylece tamamlayarak duyma dediğimiz olayın gerçekleşmesini sağlar. Uzaktan algılama için kullanılan enerji kaynağında ya güneştir ya da yapay bir güç kaynağıdır.

Uzaktan algılamanın gerçekleşebilmesi için 7 şartın yerine gelmesi gerekmektedir.

Enerji kaynağı ya da ışınım

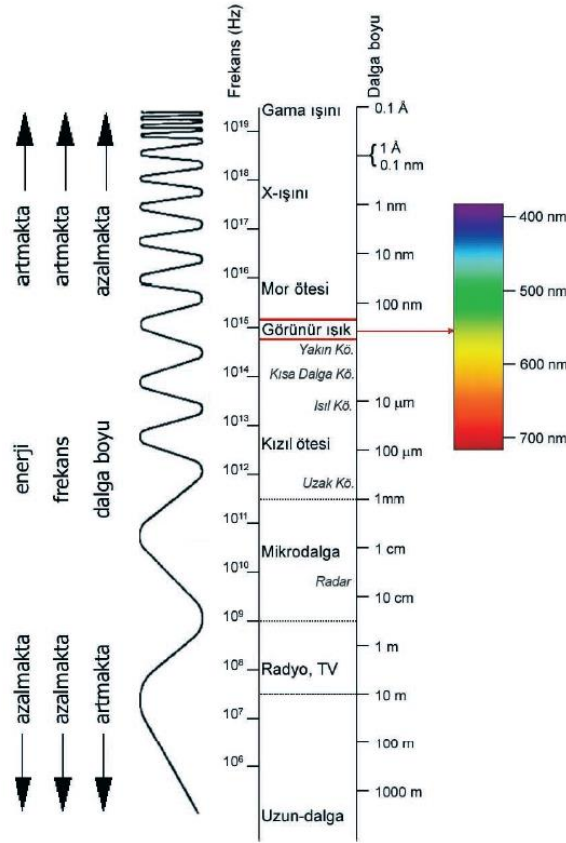
- Işınım veya radyasyon ve atmosfer
- Hedef ve interaksyon
- Sensör tarafından kaydedilen enerji
- Transmisyon, alma ve işleme

- Yorumlama ve analiz
- Uygulama

3.1.1 Elektromanyetik Enerji

Elektromanyetik tayf veya elektromanyetik spektrum evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışıınım türevlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki rölâtif yerlerini ifade eden kavramdır. Herhangi bir cismin elektromanyetik tayfı veya spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder. Elektromanyetik tayf, dalga boylarına göre atomaltı değerlerden başlayıp, binlerce kilometre uzunlukta olabilecek radyo dalgalarına kadar birçok farklı radyasyon tipini içerir. Elektromanyetik tayf teoride sonsuz ve sürekli olsa da, paratikte kısa dalgaboyu (yüksek frekans) ucunun limitinin Planck uzunluğuna, uzun dalgaboyu (alçak frekans) ucunun limitinin ise evrenin tümünün fiziksel büyüklüğüne eşit olduğu düşünülmektedir.

Elektromanyetik enerji ile cisim arasındaki etkileşme anında cisim tarafından yansıtılan, soğurulan ve geçirilen enerji o cismin yansıtma, soğurma ve geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Gama, X ve Ultraviyole ışınları tipindeki enerji atmosfer tarafından emildiği için uzaktan algılamada kullanılamazlar. 0.4-0.7 mm dalga uzunluğundaki elektromanyetik spektrumun gözle görünür kısımları hem fotoğraf makinalarında hem de algılayıcılarda kullanılır. Gözle görünür ışık; mavi, yeşil ve kırmızı ışık olarak üçe ayrılır. Elektromanyetik spektrumun kızılötesi dalga boyu 0.7-15 mm arasında değişen kızılötesi radyasyondur. Bu bölge yansıyan kızılötesi (0.7-3 mm) ve yayılan kızılötesi (3-14 mm) olmak üzere, yansıyan kızılötesi ise yakın (0.7-1.3 mm) ve orta (1.3-3 mm) kızılötesi olarak da ikiye ayrılır (Thomas ve Kiefer, 1999) . Günümüzde pasif uzaktan algılama mavi ışıktan termal radyasyona kadar değişiklik gösteren radyasyonları kullanmaktadır. Aktif uzaktan algılama (radar) ise daha uzun dalga boylarındaki mikrodalga radyasyonları kullanır. Daha uzun dalga boyları bulutların, sisin yada yağmurun içinden süzûlebildiği için gelecek nesil uyduların mikrodalga boylarına hassas uzaktan algılama algılayıcıları ile donatılacakları açıktır.



Şekil 3.1. Elektromanyetik Spektrum

Kaynak: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No:2320 Uzaktan Algılama

3.1.2 Algılama Sistemleri

Uzaktan algılamanın temelini oluşturan esas olay algılamadır. Algılayıcı sistemler uzaktan algılamanın sisteminin en önemli parçasıdır. Farklı algılayıcıların ve algılama platformlarının özelliklerinin bilinmesi çeşitli uygulamalarda kullanılacak uydu verisinin seçiminde etkili olmaktadır. Algılayıcıların tipine göre sınıflandırılır. Uydular algılama tekniğinde kullandıkları enerji kaynaklarına göre Aktif algılama ve Pasif algılama olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Aktif Algılama

Pasif algılamada Güneş gibi başka bir kaynaktan gelen ışınların cisimlere çarptıktan sonra uyduya ulaşarak elde edilen algılama yöntemidir. Bu yöntemde gece ve gündüz olması başarımı direk etkileyeceği gibi meteorolojik etmenlerde etkilidir. Bu tip algılama yapan algılayıcılar güneşin gönderdiği ışınlar vasıtasıyla yansıyan cisim ışınlarını ölçerler. Bu tip algılayıcıların önemli 2 özeliği vardır. İlk

olarak yalnızca güneş varlığında algılama yaparlar, hava bulutlu ise algılama yapamazlar. İkinci önemli özelliği de bedava enerji kullanmaları ve bu sayede enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Ayrıca bu sistemler gündüz hava açıkken yansıyan tüm cisim görüntülerini algırlar. Ancak algılanan bu görüntüler saklanma maliyeti yüksek olduğundan depolanamaz. Bu yüzden talep üzerine görüntü alınır ve kaydedilir böylece maliyet düşürülmüş olur.

Pasif Algılama

Aktif algılama ise uydunun kendi kaynakları ile yaptığı algılamadır. Bu yöntemde gece gündüz olamsı veya meteorolojik etmenler çok önemli değildir. Bu tip algılayıcılar güneş enerjisine ihtiyaç duymazlar kendi ışınlarını kendileri gönderir ve tekrar geri almak suretiyle görüntü elde ederler. Bu tür cihazlar korkunç bir enerjiye ihtiyaç duyarlar. Ömürleri de kendilerine depolanan enerji maliyetindedir. Bu tür sistemler gece gündüz dememden sürekli görüntü alma kapasitesine sahiptirler. Bu yüzden cisimleri siyah beyaz olarak algırlar. Trafik polislerini kullandığı radarlarda aktif algılayıcılara iyi bir örnektir. Bu tür uyduların her zaman % 10 yanılma payları vardır, bu da trafikte istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olabildiği gibi profesyonel çalışmalar içinde sorun teşkil edebilmektedir. Ayrıca uzaktan algılamada Mie, Rayleigh, Nonselective (rastgele saçılım) adlı saçılmalarda vardır. Geçirgenlik ise $\text{Geçirgenlik} = \text{Geçirilen enerji} / \text{Gelen enerji}$ ile tanımlanabilir.

Algılayıcılar

Yerden ışın yansıtan cisimlerin yaydığı ışını algılamak için geliştiren cihazlara "algılayıcı" denir. Algılayıcılar bir de bulundukları yani yerleştikleri yere göre ayrılmaktadırlar. Ancak algılayıcıları ayırmadan önce radyometre (temel algılayıcı) adlı cihazı tanımakta yarar var. Bu cihaz aslında bir nevi fotoğraf makinesi ya da kameraya benzetilebilir ancak onlardan da farklı olduğunu unutmamak gerekir. Radyometreler yerleştirildikleri platformlardan ışın göndererek o ışını çarpıp yansıdığı cismin özelliklerini algılayan cihazlardır ve algılayıcılar esasta radyometrelerin yerleştikleri platformlara göre ayrılırlar.

- **Yer esaslı algılayıcılar:** Bu algılayıcılar yere yakın olarak konumlandırılır ve bu şekilde çalıştırılarak kullanılırlar. Bu algılayıcılardan faydalanılarak tarımda çeşitli işlemler yapılabilir. Genel olarak vinçlere takılırlar.

- **Uçak esash algılayıcılar:** Bu tiplerde radyometrelerin uçaklara takılmasıyla elde edilirler. Hava fotoğrafları uçaklara takılan algılayıcılar ile elde edilir. Çok yüksek çözünürlüklü görüntülerin çekilmesinde uçaklara takılan bu tür algılayıcılar kullanılırlar. Günümüzde insansız hava araçlarına (IHA) takılan algılayıcılar ile de bir çok alanda uzaktan algılama amaçlı görüntüleme yapılabilmektedir.
- **Uzay aracı esash algılayıcılar:** Bu tip algılayıcılar ise radyometrelerin uzay araçlarına yerleştirilmesiyle oluşturulurlar. Bunlara yaygın olarak uydu adı verilir.

Belirli bir uygulamaya yönelik özel “algılayıcı sistem mimarisinin” seçiminde platform ve algılayıcı arasındaki bazı özelliklerin uyumlu olması gereklidir. Genel olarak uydulardaki görüntüleme sistemleri için tüm sistem mimarisinin saptanmasına etki eden temel faktörler kapsama alanı, mekansal çözünürlük ve örnekleme-zaman aralığıdır. Bu faktörler platform yüksekliğini ve algılayıcı tasarım parametrelerini etkilemektedir. Sistem mimarisi, aynı zamanda tüm uzaktan algılama uygulamalarında kullanılacak uydu verilerinin çözünürlüğünün (mekansal, spektral, radyometrik ve zamansal) belirlenmesi açısından da önem arz etmektedir. Bunların yanı sıra sistem geliştirme maliyeti, sistemin teknik olarak yeterliliği, güç, ağırlık ve veri hızı gereksinimleri de göz önünde tutulmalıdır.

3.1.3 Uydu Sistemleri

Genel anlamda herhangi bir cisim etrafında (örn. Galaksi, Güneş, Dünya veya Mars) dönen cisimlere **uydu** denilmektedir. Bu kapsamda Ay, Dünya’nın uydusu, Dünya ise Güneş’in uydusudur. Doğal uydu olarak adlandırılan bu uyduların dışında insanoğlu tarafından herhangi bir gezegenin çevresindeki bir yörüngeye yeryüzünden fırlatılarak yerleştirilmiş uydu sistemleri de bulunmaktadır ve bu sistemler yapay uydu sistemi olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde Dünya’nın yörüngesinde 1000’in üzerinde yer gözlem uydu sistemi bulunmaktadır. Farklı amaçlara yönelik uzaya fırlatılan ve daha çok sivil ve askeri amaçla kullanılan bu uydu sistemleri, ilk olarak iletişim alanında daha hızlı ve yüksek kapasiteli ama aynı zamanda da düşük maliyetli sistemler yaratma çabaları sonucunda ortaya çıkmıştır. 1957 yılında uzaya ilk uydunun (SPUTNIK)

gönderilmesi ile uzay çağı başlamış ve uydu sistemleri haberleşmenin yanı sıra birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Uydular en genel anlamda iki gruba ayrılmaktadır;

1. İnsansız uydular: Landsat, Meteosat, Rapid Eye, Spot, GeoEye, WorldView, Envisat, RASAT, Göktürk-2 vb.

2. İnsanlı uydular: Apollo, Gemini, Uzay mekiği, vb.

Genellikle çok katlı bir roketle yerleştirilip yerden fırlatılarak yörüngelerine sabitlenen insansız uydu sistemleri iki ana sistem elemanından oluşur

- **Faydalı yük (payload):** Uydunun işlevini görebilmesi için gerekli tüm donanımı (anten, kameralar, radar ve elektronik sistemler) içerir ve her uydu için farklıdır. Uydunun amacına/görevine göre faydalı yük tasarlanmaktadır.
- **Uydu yapısı (bus):** Uydunun faydalı yük ve tüm donanımlarını uzaya taşıyan bölümüdür. Uydunun tüm parçalarını (elektrik, bilgisayar donanımı, yeryüzü ile iletişimde gerekli donanım ve itici güç) bir arada tutar. Elektronik cihazlar için gereken enerji, üzerinde bulunan güneş panelleri ile Güneş enerjisinden sağlanır.

Uydular kütlelerine göre;

- Büyük uydular: ağırlığı 1 tondan fazla (Hubble, Türksat 3A)
- Orta boy uydular: 500 kg - 1 ton (THEOS)
- Mini uydular: 100 kg - 500kg (Göktürk-2, RASAT)
- Mikro uydular: 10 kg - 100 kg (UoSAT-1)
- Nano uydular: 1 kg — 10 kg (Delfi C3)
- Piko uydular: 0,1kg - 1kg (İTÜpSAT1)
- Femto uydular: Ağırlığı 0,1 kg'dan az olarak sınıflandırılırlar.

Uydular kullanım amaçlarına göre;

- Askeri amaçlı uydu sistemleri
- Haberleşme amaçlı uydu sistemleri
- Meteoroloji uydu sistemleri
- Navigasyon amaçlı uydu sistemleri
- Uzaktan algılama (yeryüzü gözlem) amaçlı uydu sistemleri
- Uzay araştırma uydu sistemleri

olarak gruplandırılırlar.

3.2. Radyometrik Düzeltme

Herhangi bir algılayıcı sistem tarafından ölçülen ışınlılık, aydınlanma ve geometrisindeki, atmosferik koşullardaki, bakış geometrisindeki ve algılayıcı karakteristiklerindeki değişimlerden etkilenir. Genellikle bu etkilerin düzeltilmesi algılayıcı sisteme ve uygulama çeşidine bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin bakış geometrisi gibi etkiler uçak bazlı sistemlerde uydu sistemlerine göre çok daha önemli bir etkiye sahiptir.

Uzaktan algılama görüntülerinin yorum ve analizinde iki temel kabul yapılır:

- Görüntü piksel değerleri, yeryüzü yansıtımının mekansal dağılımını doğru bir şekilde temsil etmektedir,
- Bu yansıtım büyüklüğü yeryüzünün fiziksel, kimyasal veya biyolojik özellikleriyle ilişkilidir.

Birinci kabul görüntünün geometrik niteliğiyle ilgiliyken görüntünün radyometrik niteliğiyle ilgili olan ikinci kabul, algılayıcı kalibrasyonu, Güneş birim ışınlılığındaki değişimler, atmosferik yutulma ve saçılma etkileri düzeltilmeden geçerli olamaz. Bütün bu algılayıcı bazlı ve atmosferik düzeltmeler özellikle aynı bölgenin farklı zamanlı veya farklı algılayıcıdan algılanan tematik bilgilerinin analizleri yapıldığında çok gereklidir. Genel olarak atmosferik koşulların aynı kabul edildiği tek zamanlı ve tek algılayıcıdan alınan görüntülerin analizlerinde atmosferik düzeltmelere gerek olmayabilir.



Şekil 3.2 SPOT-7 görüntüsü (Soldaki görüntü Atmosferik düzeltmesi yapılmamış, sağdaki görüntü atmosferik düzeltmesi yapılmış)

Kaynak: <http://www.spot-7.com/svc/atcor.html> (12.01.2014)

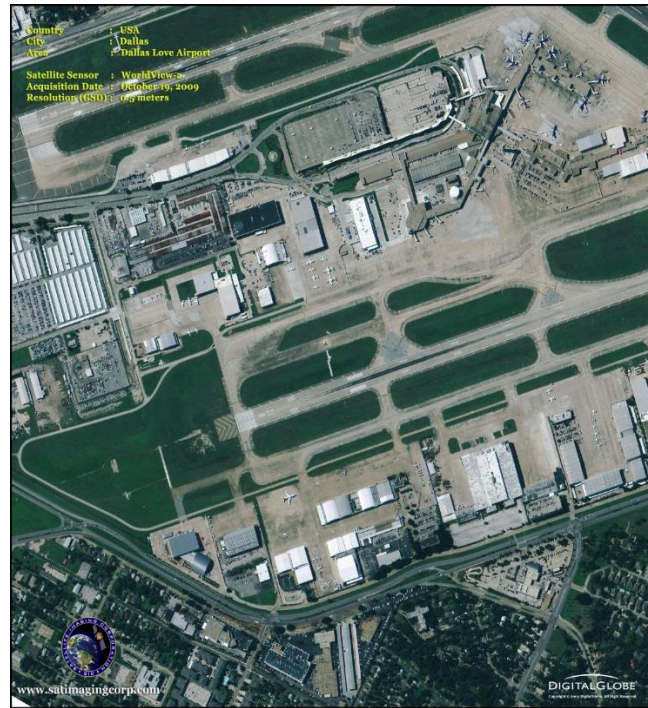
3.3. Geometrik Düzeltme – Ortorektifikasyon

Haritalar, belirli matematiksel kartografik ve jeodezik projeksiyon kurallarına göre düzlem bir altlık üzerine izdüşürülen ve her noktasında tektip ölçeğe sahip olan yeryüzünün gösterimidirler. Dijital görüntüler, değişik sebeplerden kaynaklanan geometrik distorsiyonlardan dolayı doğrudan harita gibi kullanılamazlar. Diğer bir ifade ile görüntüyü oluşturan piksellerin temsil ettikleri coğrafi alanların arasındaki uzaklıklar, görüntüde uniform olmayan bir şekilde hatalı olarak gösterilir. Bunun sonucu cisimlerin şekil, büyüklük ve konum gibi özellikleri görüntü düzleminde bozulur. Uydu görüntü verilerinin bu distorsiyonlar için düzeltilerek bir harita projeksiyon sistemiyle tutarlı hale getirilmesi işlemine “**rektifikasyon**” adı verilir. Rektifikasyon işlemi sonrasında piksellerin geometrik konumlarının yanı sıra radyometrik (parlaklık) değerleri de değişmektedir. Geometrik distorsiyonlar genel olarak aşağıda belirtilen faktörlerden kaynaklanmaktadır:

- Bazı algılayıcıların sınırlı tarama oranı
- Bazı algılayıcıların geniş bakış alanı
- Görüntü elde edilirken Dünya’nın dönüşü

- Yeryüzü eğriselliği
- Uydu platformunun konum, durum ve hızındaki değişimler
- Görüntüleme geometrisiyle ilişkili panoramik etkiler
- Topoğrafik rölyef etkisi

Özellikle uydularda yıldız kamerası ve GPS gibi yönelimi bildiren alt sistem parçaları geometrik olarak yeryüzü üzerinde hangi noktaya hangi açı ile bakıldığı bilgisini sağlamaktadır. Yeni nesil ticari Amerikan uydularında kullanılan GPS sistemlerinin çözümlemesi ve yıldız kamerasını hassasiyeti sayesinde yer istasyonuna indirilen görüntülerin geometrik doğruluğu 5 metrenin altına düşmüştür. 2007 yılında uzaya gönderilen 0,5 metre mekânsal çözünürlüğe sahip WorldView-1 uydusunun konum hatası 3,6 - 4,9 metre, 2009 yılında uzaya gönderilen 0,46 metre mekansal çözünürlüğe sahip WorldView-2 uydusunun konum hatası 2,4 - 3,5 metre (Digital Globe, 2014), 2008 yılında uzaya gönderilen 0,5 metre mekansal çözünürlüğe sahip GeoEye-1 uydusunun konumsal hatası 2,8 metredir (Bresnahan, 2012).



Şekil 3.3. WorldView-2 uydu görüntüsü Dallas Love Airport, Dallas, USA

Kaynak: <http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/worldview-2-dallas-airport.jpg>
(25.07.2014)

Geçmiş yıllardaki Amerikan ticari uyduların konum hatalarının nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin 1999 yılında uzaya gönderilen ve mekansal çözünürlüğü 1 metre olan IKONOS uydusunun konum hatası 15 metre (IKONOS, 2014) , 2001 yılında uzaya gönderilen ve mekansal çözünürlüğü 0,8 metre olan QuickBird uydusunun konum hatası 23 metredir (Bresnahan, 2012).



Şekil 3.4. IKONOS uydu görüntüsü Pam Jumeirah Adası, Dubai
Kaynak: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos/ikonos-palm-islands/> (25.07.2014)

Avrupa ülkelerine ait ticari uyduların konum hatalarının, Amerikan uydularına göre daha yüksek olduğunu görmekteyiz. 2002 yılında uzaya gönderilen ve mekansal çözünürlüğü 2,5 metre olan SPOT-5 uydusunun konum hatası 50 metre (Satellite Imaging, SPOT-5, 2014) iken, 2012 ve 2014 yıllarında fırlatılan SPOT-6 ve SPOT-7 uydusunun görüntülerinin konum hatası 19,3 metredir (EOPORTAL SPOT 6, 2014).



Şekil 3.5. SPOT-6 uydu görüntüsü İstanbul, Türkiye

Kaynak: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/spot-6/spot-6-istanbul-turkey/> (25.07.2014)

2003 yılında uzaya gönderilen Fransız ve İtalyan ortak yapımı, 0,5 metre mekansal çözünürlüğündeki Pleiades uydusunun görüntülerinin konumsal hatası 8,5 metredir (EOPORTAL SPOT 6, 2014). 2012 yılında uzaya gönderilen Landsat-8 uydusunun konumsal hatası ise 12 metredir (Storey, 2008).



Şekil 3.6. Pleiades-1A uydusu Abu Dhabi, UAE, Ferrari World-

Kaynak: <http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/pleiades-1-abu-dhabi.jpg> (01.06.2014)

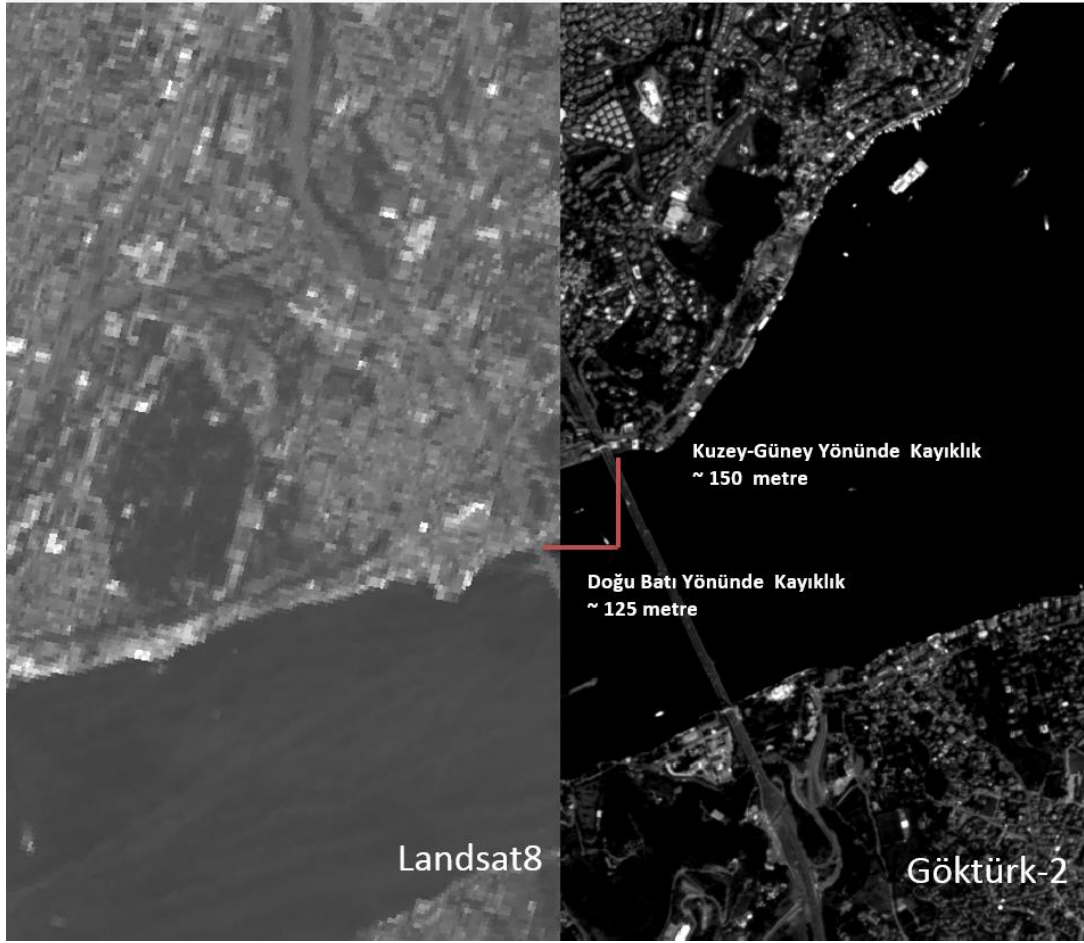
RASAT uydusu tarafından çekilen uydu görüntüleri ham (seviye 0) olarak yer istasyonunda indirilmektedir. Yer istasyonuna seviye 0 olarak indirilen görüntüler veri işleme yazılımı ile işlenerek seviye 1 yapılır. Seviye 1 görüntülerin

yer ile ilişkisi incelendiğinde her görüntüde farklı olmakla birlikte ciddi bir kayıklık söz konusudur. Aşağıdaki RASAT İstanbul görüntüsündeki hata, Landsat 8 referans görüntüsüne göre doğu batı yönünde yaklaşık 5.800 metre, kuzey güney yönünde yaklaşık 1.900 metredir (Küpcü ve ark., 2014). Bu hataların referans görüntülerden yer kontrol noktası toplanarak düzeltilmesi gereklidir.



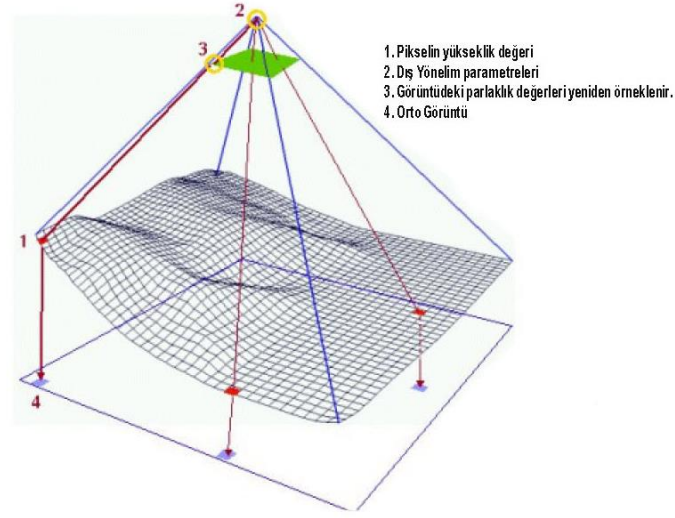
Şekil 3.7. RASAT görüntülerindeki kayıklık değerleri

Göktürk-2 uydusunun konumsal hatası ise doğu batı yönünde yaklaşık 100 metre, kuzey güney yönünde yaklaşık 150 metredir (Küpcü ve ark., 2014). Bu hataların referans görüntülerden ve sahadan GPS ile yer kontrol noktası toplanarak düzeltilmesi gereklidir.



Şekil 3.8. Göktürk 2 görüntülerindeki kayıklık değerleri

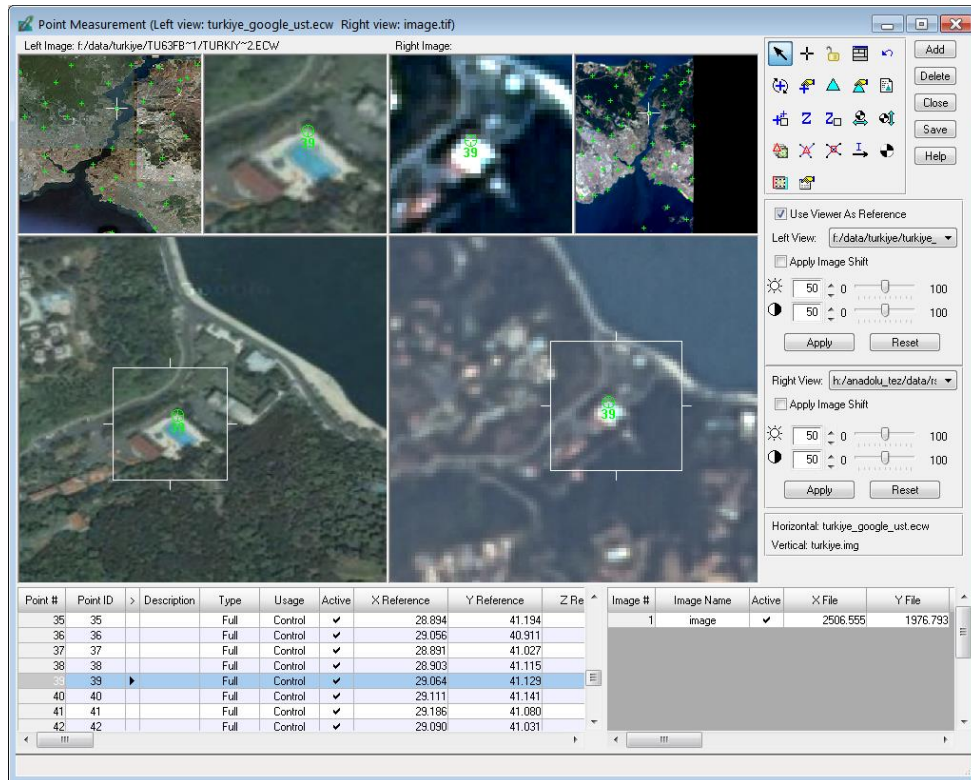
Görüntünün yer koordinat sistemi ile ilişkilendirilmesinde hassasiyetini yükseltmek için araziden DGPS'ler ile koordinat toplanması, bunun yanında geometrik düzeltmesi daha önceden yapılmış hava fotoğraflarından veya uydu görüntülerinden yer kontrol noktası toplanması gereklidir. Yer kontrol noktası toplayarak sadece yatay düzlemde meydana gelen geometrik kayıklıkların düzeltilmesi işlemine geo-rektifikasyon denilirken, özellikle yeryüzü yükseklik şekillerinden kaynaklanan düşey hataların da düzeltilmesi için sayısal yükseklik modeli SYM (Digital Elevation Model - DEM) adı verilen yüzey yükseklik matrisinin kullanılarak yapılan geometrik düzeltme işlemine de **ortorektifikasyon** denilmektedir. Ortorektifikasyonu yapılmış görüntünün her bir pikseli yatay ve düşey ekseninde yer koordinat sistemi ile ilişkilendirilmiş olur.



Şekil 3.9. Uydu görüntüsünün orto görüntü yapım süreci

Kaynak: http://legacy.satimagingcorp.com/media/images/Orthorectification_Leica_19-NOV-05.jpg (20.05.2014)

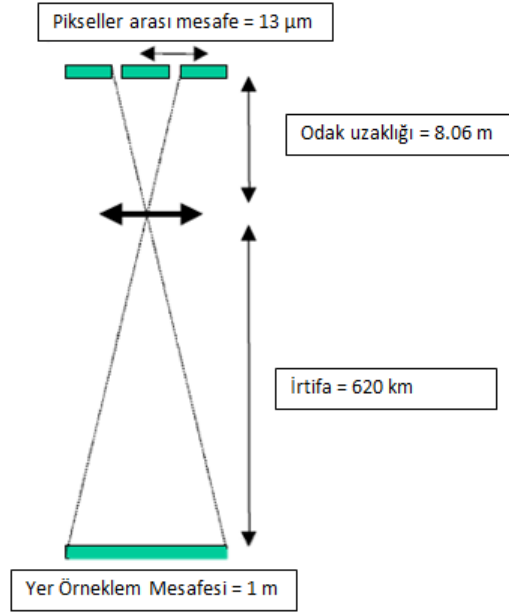
Ortorektifikasyon işleminden geçmiş görüntü artık belli bir harita koordinat sisteminde tanımlanmış olur ve coğrafi bilgi sistemlerinde yapılacak çalışmalarda kullanılmaya hazır hale gelir.



Şekil 3.10. Göktürk-2 İstanbul görüntüsünün LPS Programı ile referans görüntüden GCP toplanarak yapılan ortorektifikasyon işlemi

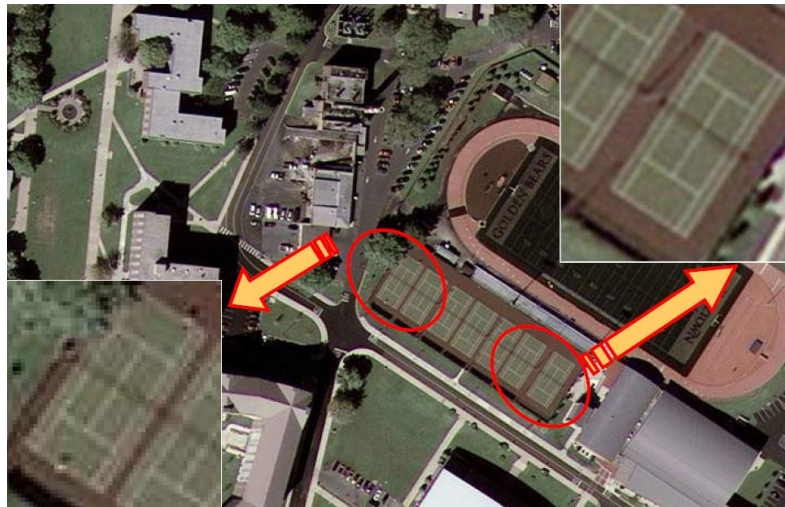
3.4. Çözünürlük ve Yer Örneklem Mesafesi

Yer Örneklem Mesafesi (YÖM) Thales teoremine göre detektörlerin (pikseller) arasındaki mesafenin, odak uzaklığının ve platform irtifasının bir fonksiyonudur.



Şekil 3.11. Yer örneklem mesafesi açıklaması

Şekil 3.11 ile gösterilen değerler arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:
$$\text{Pikseller arası mesafe} / \text{YÖM} = \text{Odak uzaklığı} / \text{İrtifa}$$



Şekil 3.12. Örnek Geo-Eye görüntüsü (YÖM = 0.5m)

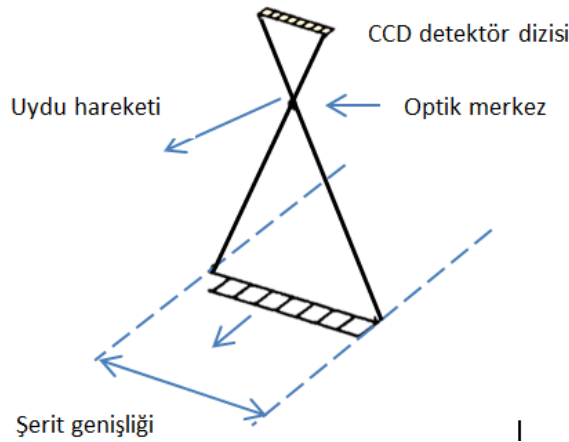
Kaynak: <http://www.cnet.com/news/attention-google-maps-fans-here-come-geoeye-photos/>
(24.02.2014)

Şekil 3.12 ile verilen örnek Geo-Eye görüntüsünün yer örneklem mesafesi 0.5m'dir Buna rağmen görüntüdeki 0.1m kalınlığındaki tenis kortu çizgileri ayırt edilebilmektedir. Bu da görüntüleyicinin radyometrik performansının iyi olduğunu göstermektedir.

Çözünürlük; tanım olarak görüntüdeki çizgilerin birbirlerinden ayırdelebileceği en yakın mesafedir. Çözünürlük yer örneklem mesafesine bağlı olmakla birlikte çözünürlüğü etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerden en önemlileri optik ve elektronik sistemlerin nokta saçılım fonksiyonlarıdır.

3.5. Uyduların Yer Yüzünü Görüntüleme Prensipleri

Pushbroom tarama yönteminde şerit genişliğini doğrusal CCD dizisinin genişliği belirler. Şerit genişliğine 'Across-track' de denir (ACT). Uydunun hareketi ile taranan boyuta ise 'Along-track' (ALT) adı verilir. Sensör uydunun hareket istikametini gösteren ok doğrultusunda hareket etmektedir.



Şekil 3.13. Pushbroom tarama şeması

Pushbroom görüntüleme tekniği ile hedef bölgenin fotoğrafı satır satır çekilerek oluşturulur. Şekil 3.13 ile gösterildiği gibi uydunun hız vektörü istikametinde satır satır tarama yapılır.

3.6. Pankromatik Sensörler

Pan kelimesi Yunanca ‘hepsi’, ‘tamamı’ anlamındadır. *Chroma* kelimesi Yunanca renk anlamına gelmektedir. Pankromatik görüntü görünür bandın tamamına (400-700 nm) duyarlı detektörlerle alınan görüntüdür. Pankromatik sensörlerden alınan görüntüler siyah beyazdır.



Şekil 3.14. Pleiades pankromatik Sanfransisco görüntüsü

Kaynak: <http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/pleiades-1-san-francisco.jpg>
(05.05.2014)

3.7. Multispektral Sensörler

Bir çeşit elektro-optik sensör olan multispektral sensörler genelde iki ile beş bant, her iki bant arası dalga boyu 40 nm’den büyük olacak şekilde tasarlanmaktadır. Mavi, kırmızı ve yeşil bantlardan her biri farklı bir CCD dizisi olmak üzere üç farklı CCD dizisi kullanılmaktadır.

1	2	3	4	...	N-1	N
1	2	3	4	...	N-1	N
1	2	3	4	...	N-1	N

Şekil 3.15. Multispektral CCD dizileri, her bantta N adet CCD detektörü

3.8. Yer Kontrol Noktası (YKN)

Yer Kontrol Noktaları (YKN) hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin rektifikasyonunda, görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi matematiksel dönüşüm modelleri ile kurarak, geometrik düzeltmesi yapılmamış görüntünün ortogörüntüye dönüştürülmesini sağlar. Görüntü ile yer koordinat sistemine sahip referans görüntüden toplanan yer kontrol noktalarının seçimi, sayısı, dağılımı ve doğruluğu önemlidir. Hava fotoğraflarının ortogörüntüye dönüştürülmesi işleminde yer kontrol noktaları yere tesis edilirken, uzaktan algılama amaçlı kullanılacak uydu görüntülerinde yer kontrol noktaları doğal veya yapay nesnelerden seçilir. Yer kontrol noktaları araziden GPS ile veya geometrik düzeltmesi yapılmış referans görüntülerden yol kesişimleri, limanlar, köprüler, dereler, kıyılar, bina köşeleri, bina bacaları gibi keskin hatları belli olan objelerden seçilir.



Şekil 3.16. Yer kontrol noktalarının seçimi

Uzaktan algılama çalışmalarında ise YKN'larının niteliği, görüntünün geometrik ve radyometrik çözünürlüğüne ve yöneltme için kullanılan matematiksel modele bağlıdır. Bu çalışma kapsamında YKN'ları sadece referans görüntülerden seçilmiştir. Doğruluğu artırmak için araziden GPS ile yer kontrol noktası toplanması gerekliliği kaçınılmaz bir gerçektir. Landsat-8 uydusunun konum hatası 12 metredir (Storey, 2014). Kullanıcı düzeltme yapacağı görüntülerin bu konum hatası değerleri çalışması için yeterli gelmesi durumunda YKN toplama işini sadece referans görüntülerden de yapabilmektedir. Bu çalışmada referans görüntülerden toplanacak YKN'larının seçiminin, sayısının,

dağılımının ve doğruluğunun ortogörüntü doğruluğuna etkisi, RASAT ve Göktürk-2 görüntüleri üzerinde araştırılacaktır.



Şekil 3.17. Yer kontrol noktalarının dağılımı

3.9. Bağımsız Denetim Noktası (BDN)

Görüntülerin rektifikasyonunda kullanılan yer kontrol noktaları referans görüntü ile matematiksel dönüşüme girdiğinden dolayı koordinat doğruluğuna yakın sonuçlar verir. Görüntülerin doğru rektifikasyon sonuçlarını hesaplamak için görüntü üzerinde yeterince homojen dağılmış yeterli sayıda BDN bulunur ve ortogörüntü ile arasındaki farklar hesaplanır. Bağımsız denetim noktalarının hem görüntü koordinatı hem de yer koordinatı bilinir. Bu çalışmada her bir görüntüde 9 adet BDN tesis edilmiştir. BDN'ları seçininde mümkün olduğunca görüntü üzerine homojen dağılmasına ve YKN'larına eşit uzaklıkta olmasına dikkat edilmiştir.

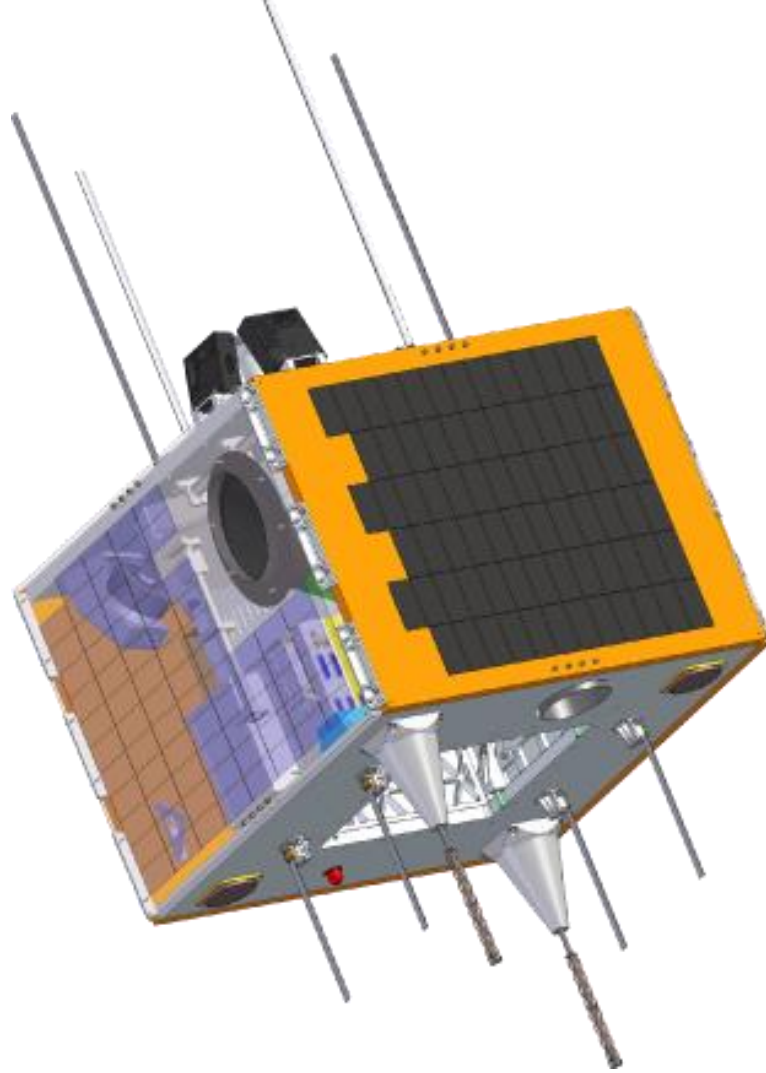


Şekil 3.18. BND seçimi

3.10. RASAT Uydusu ve Görüntüleri

TÜBİTAK UZAY Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından tasarlanıp üretilen RASAT, Türkiye'nin ilk yerli üretim yer gözlem uydusudur. 17 Ağustos 2011 tarihinde Rusya Federasyonunun Kazakistan sınırındaki Yasny fırlatma üssünden Dnepr roketi ile uzaya gönderilmiştir. RASAT Uydusu Türkiye'nin BİLSAT'dan sonra uzaya gönderilen ikinci yer gözlem uydusudur. RASAT Uydusu Türkiye'de tasarlanıp üretilen ilk yer gözlem uydudur. RASAT uydusu Güneş'e eş zamanlı dairesel yörüngede, 700 km irtifada uçmaktadır. 7.5 m pankromatik, 15 m çok bantlı uzamsal çözünürlükte süpürçek (pushbroom) kameraya sahiptir. Kullanım ömrü 3 yıl olarak tasarlanan RASAT, 3 eksende kontrol edilerek, uydudan 4 günlük yeniden ziyaret zamanı ve 30 km'lik şerit genişliği ile 960 km uzunluğunda şerit görüntülenebilmektedir. Yörünge özelliği sebebiyle Dünya'nın her yerinden görüntü alınabilmektedir. TÜBİTAK UZAY tesislerinde bulunan yer istasyonundan kontrol edilen uydu, günde 4 kez Türkiye üzerinden geçmekte olup, günlük ortalama 42 dakikalık iletişim süresine sahiptir; bunun dışında Kutup Kuşağı içinde yer alan Svalbard Adası'nda da uzaktan

kontrol edilen bir yedek yer istasyonu bulunmaktadır. RASAT görüntüleriyle, haritacılık, afet izleme, çevre ve şehir planlama, değişiklikleri izleme gibi pek çok alanda uydu görüntüsü ihtiyaçlarını karşılama amaçlanmaktadır.



Şekil 3.19. RASAT uydusu

Kaynak: <http://www.irfanakar.com/turkish/yerliuydular.html> (23.09.2014)

RASAT uydusundan indirilen ham görüntüler geometrik ve radyometrik düzeltmelerin ardından koordinatlandırma işlemleri yapılarak güncel görüntüler GEZGİN portalına aktarılıyor. (www.gezgin.gov.tr) GEZGİN portalına üye olan kamu kurumları çalışanları ve akademisyenler RASAT uydusundan 2012 yılından günümüze kadar çekilmiş tüm görüntüleri ücretsiz indirebiliyorlar.

RASAT Uydusu'nun teknik özellikleri Çizelge 3.1 ile verilmektedir.

Çizelge 3.1. RASAT uydusunun teknik özellikleri

Kaynak: <http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/uydu-uzay/rasat>

Uydu İsmi	RASAT
Kütle	93 kg
Yörünge	689 km'de dairesel, güneşe eş zamanlı
Yörünge Kontrolü	3 eksen kontrollü (yaw, pitch ,roll)
Yörünge Süresi	98.8 dakika
Ekvator geçişi yerel zamanı	10:30
Uzamsal Çözünürlük	Pankromatik 7.5 metre Çok bantlı 15 metre
Tahmini Ömür	3 yıl
Tayfsal Çözünürlük (nm)	0.42-0.73 Pankromatik 1. Bant 0.42 – 0.55 Mavi 2.Bant 0.55 – 0.58 Yeşil 3. Bant 0.58- 0.73 Kırmızı
Radyometrik Çözünürlük	8 bit
Zamansal Çözünürlük	4 gün
Şerit Genişliği	30 km
Maksimum Şerit Boyu	960 km

RASAT Uydusunun görüntü işleme seviyeleri ile verilmektedir.

Çizelge 3.2. RASAT uydu görüntülerinin görüntü işleme seviyeleri

Seviye 0 (L0)	Ham görüntü (sıkıştırma ve radyometrik çözümleme yapılmış.)
Seviye 1 (L1)	Radyometrik düzeltilmiş görüntü (dedektör ve atmosferik hataları düzeltilmiş, gölge, gürültü ve bulanıklığı giderilmiş)
Seviye 2 (L2)	Geometrik düzeltilmiş görüntü
Seviye 3 (L3)	Ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye 4 (L4)	Pan ile keskinleştirilmiş görüntü
Seviye 5 (L5)	Mozaik görüntü
Seviye 6 (L6)	Sayısal yükseklik modeli görüntüsü

RASAT Uydusunun kamera parametreleri Çizelge 3.3 ile verilmiştir.

Çizelge 3.3. RASAT uydusunun kamera parametreleri

Kanallar	PAN	Kırmızı	Yeşil	Mavi
Focal Length (mm) Efektif Odak Uzaklığı (mm)	470,76	472,33	469,80	469,97
Pixel Size (mm) Benek boyutu X & Y (mm)	0,005	0,010	0,010	0,010
Sensör Columes Algılayıcı sütunları (benek)	4096	2048	2048	2048
Yersel Çözünürlük (m)	7,434	14,826	14,903	14,896
(Along) Track incidence angle (Yıldız kamerası)	±30°	±30°	±30°	±30°

3.11. Göktürk-2 Uydusu ve Görüntüleri

TÜBİTAK UZAY Teknolojileri Araştırma Enstitüsü ve TUSAŞ - Türk Havacılık ve Uzay A.Ş. tarafından tasarlanıp üretilen Göktürk-2, Türkiye'nin RASAT Uydusundan sonra ikinci yerli üretim yer gözlem ve kesif uydusudur. 18 Aralık 2012 tarihinde Çin'deki Jiuquan Fırlatma Üssü'nden uzaya fırlatılmıştır. Göktürk-2 Uydusu Güneş'e eş zamanlı dairesel yörüngede, 686 km irtifada uçmaktadır. 2.5 m pankromatik, 5 m çok bantlı uzamsal çözünürlükte süpürçek (pushbroom) kameraya sahiptir. Kullanım ömrü 5 yıl olarak tasarlanan GÖKTÜRK-2, 3 eksenle kontrol edilerek, uydudan 4 günlük yeniden ziyaret zamanı ve 20 km'lik şerit genişliği ile 640 km uzunluğunda şerit görüntülenebilmektedir. Yörünge özelliği sebebiyle Dünya'nın her yerinden görüntü alınabilmektedir. Milli Savunma Bakanlığı Hava Kuvvetleri Komutanlığı tesislerinde bulunan yer istasyonundan kontrol edilen uydu, günde 4 kez Türkiye üzerinden geçmekte olup, günlük ortalama 42 dakikalık iletişim süresine sahiptir. Göktürk-2 görüntüleriyle, keşif, istihbarat, haritacılık, afet izleme, çevre ve şehir planlama, değişiklikleri izleme gibi pek çok alanda uydu görüntüsü ihtiyaçlarını karşılama amaçlanmaktadır.



Şekil 3.20. Göktürk-2 uydusu
http://www.spacetech-i.com/GK-2_SG.html (12.01.2014)

Göktürk-2 Uydusu'nun teknik özellikleri Çizelge 3.4 ile verilmiştir.

Çizelge 3.4. Göktürk-2 uydusu teknik özellikleri

Kaynak: <http://uzay.tubitak.gov.tr/projeler/gokturk-2> (01.05.2014)

Uydu İsmi	Göktürk-2
Kütle	409 kg
Yörünge	686 km'de dairesel, güneşe eş zamanlı
Yörünge Kontrolü	3 eksen kontrollü (yaw, pitch ,roll)
Yörünge Süresi	98 dakika
Ekvator geçişi yerel zamanı	10:30
Uzamsal Çözünürlük	Pankromatik 2.5 metre Çok bantlı 5 metre
Tahmini Ömür	3 yıl
Tayfsal Çözünürlük (nm)	0.43-0.73 Pankromatik 1.Bant 0.43-0.51 Mavi 2.Bant 0.51-0.58 Yeşil 3.Bant 0.58-0.73 Kırmızı 4.Bant 0.76-0.88 Yakın Kızıl Ötesi
Radyometrik Çözünürlük	11 bit
Zamansal Çözünürlük	2.5 gün
Şerit Genişliği	20 km
Maksimum Şerit Boyu	640 km
Faydalı Yükler	Optik Faydalı Yük: Stereoskopik görme özelliğine sahip pushbroom görüntüleyiciden oluşmaktadır. BİLGE: Specewire veriyolu kullanılabilen uçuş bilgisayarı. GEZGİN: JPEG2000 algoritmaları ile yüksek hızda çok bantlı görüntü sıkıştırma ve şifreleme yapabilen yeni nesil görüntü işleme kartı X-Bant Verici Modülü: 100Mb/s iletim hattına ve 7 W çıkışa sahip iletişim sistemi

Göktürk-2 Uydusunun görüntü işleme sevipleri Çizelge 3.5 ile verilmiştir.

Çizelge 3.5. Göktürk-2 uydusu görüntü işleme seviyeleri

Seviye 0 (L0)	Ham görüntü (sıkıştırma ve radyometrik çözümleme yapılmış.)
Seviye 1 (L1)	Radyometrik düzeltilmiş görüntü (dedektör ve atmosferik hataları düzeltilmiş, gölge, gürültü ve bulanıklığı giderilmiş)
Seviye 2 (L2)	Geometrik düzeltilmiş görüntü
Seviye 3 (L3)	Ortorektifiye edilmiş görüntü
Seviye 4 (L4)	Pan ile keskinleştirilmiş görüntü
Seviye 5 (L5)	Mozaik görüntü
Seviye 6 (L6)	Sayısal yükseklik modeli görüntüsü

Göktürk-2 uydusunun kamera parametreleri Çizelge 3.6 ile verilmiştir.

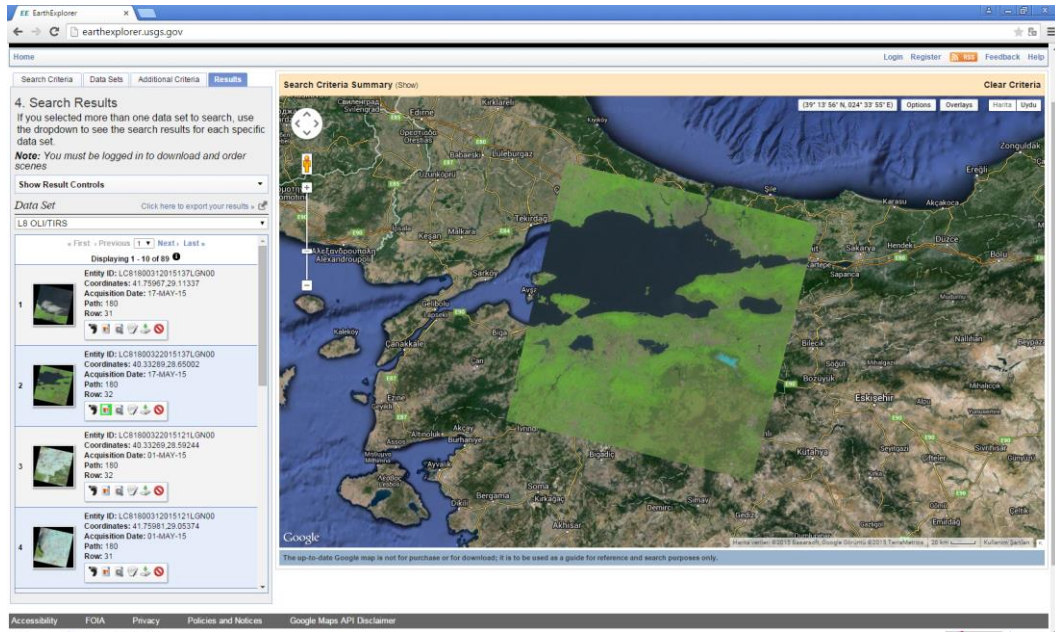
Çizelge 3.6. Göktürk-2 uydusunun kamera parametreleri

Kanallar	PAN	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
Focal Length (mm) Efektif Odak Uzaklığı (mm)	1416,24	1414,06	1413,14	1413,21	1422,07
Principal Point xo (mm)	0.00	0.0066	0.0098	0.0028	-0.5998
Principal Point yo (mm)	90.4011	90.4270	90.4283	90.5420	90.3618
Pixel Size (mm) Benek boyutu X & Y (mm)	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010
Sensör Columns Algılayıcı sütunları (benek)	8192	4096	4096	4096	4096
Yersel Çözünürlük (m)	2,42	4,95	4,95	4,95	4,95
(Along) Track incidence angle (Yıldız kamerası)	±30°	±30°	±30°	±30°	±30°
Side (Across track) incidence angle	0°	0°	0°	0°	0°

3.12. Landsat Uyduları ve Görüntüleri

Landsat Uyduları; Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi Başkanlığı (NASA) tarafından ilk olarak 1972 yılında yeryüzü kaynaklarını araştırmak amaçlı uzaya gönderilmiştir. 1975 yılında Landsat-2, 1978’de Landsat-3, 1982’de Landsat-4 ve 1984’de Landsat-5 uzaya gönderilmiştir. 5 Ekim 1993’de fırlatılan Landsat-6 yörüngeye yerleştirme esnasında yaşanan sorunlar nedeniyle hiç kullanılamamıştır. 15 Nisan 1999’da

yörüngesine yerleştirilen Landsat-7 uydusu, 6 bantta 30 metre yersel çözünürlüğe, pankromatik bantta 15 metre yersel çözünürlüğe, yakın ve orta kızılötesi bantta ise 60 metre yersel çözünürlüğe sahiptir. Landsat-8 Uydusu 11 Şubat 2013'de Atlas-V 401 roketi ile Vanderberg Hava Kuvvetleri Üssü, Kaliforniya'dan uzaya gönderilerek görevine başlamıştır. Landsat-8 Uydusu NASA ve US Geological Survey (USGS) arasındaki işbirliği ile geliştirilmiştir. Landsat-8 Uydusu üzerinde Operational Land Imager (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) olmak üzere iki kamera sistemi taşımaktadır. Bu sensörler ile görünür, yakın kızıl ötesi ve kısa dalga kızılötesi bandda 30 metre, termal bandda 100 metre, pankromatik bandda 15 metre yersel çözünürlüğe sahip görüntüleme yapılmaktadır. Landsat uydularından çekilen görüntüler arşivlenmekte olup, <http://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden üye olunarak istenilen bölgelerin görüntüleri ücretsiz olarak indirilebilmektedir.



Şekil 3.21. Landsat görüntülerinin indirilmesi
Kaynak: <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Landsat-7 ve Landsat-8 uydularının spektral özelliklerinin karşılaştırılması ile Çizelge 3.7 gösterilmiştir.

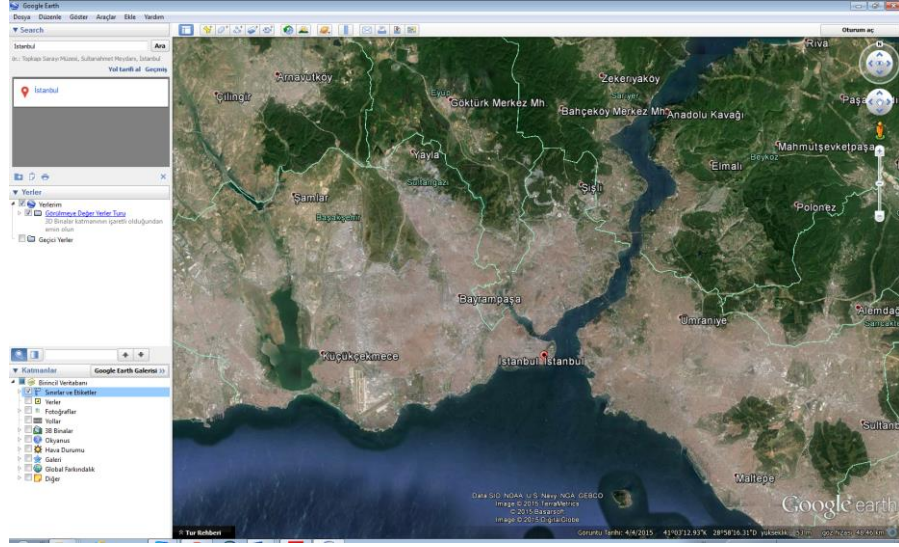
Çizelge 3.7. Landsat-7 ve Landsat-8 uydusunun spektral bantları karşılaştırılması

Kaynak: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php (12.03.2014)

Landsat-7 ETM + Bands (µm)			Landsat-8 OLI ve TIRS Bands(µm)		
			30 m Kıyı / Aerosol	0.433-0.453	Band 1
Band 1	30 m Mavi	0.441-0.514	30 m Mavi	0.450-0.515	Band 2
Band 2	30 m Yeşil	0.519-0.601	30 m Yeşil	0.525-0.600	Band 3
Band 3	30m Kırmızı	0.631-0.692	30 m Kırmızı	0.630-0.680	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772-0.898	30 m NIR	0.845-0.885	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547-1.749	30 m SWIR-1	1.560-1.660	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31-12.36	100 m TIR-1	10.60–11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50–12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064-2.345	30 m SWIR-2	2.107–2.294	Band 7
Band 8	15 Pan	0.515-0.896	15 Pan	0.503–0.676	Band 8
			30 m Sırrus	1.363–1.384	Band 9

3.13. Google Earth Görüntüleri

Google firması değişik uydulardan temin ettiği yüksek çözünürlükteki görüntülerini bir araya getirip, mozaikleme ve renk dengelememesi yapıldıktan sonra Google Earth programı ve internet görüntüleyiciler aracılığı ile herkesin kullanımına sunmaktadır. Google firmasının uydu görüntüleri ve uydu görüntüleri üzerinde geliştirdikleri coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları ile sadece uzaktan algılama veya coğrafi bilgi sistemleri konularında çalışan uzmanların değil, tüm internet kullanıcıları için bu sistemlerin ve uydu görüntülerinin çözünürlük kavramının tanınmasını sağlayan en etkin araç olmuştur. Google firması ticari görüntü sağlayıcı operatörlerden aldığı yüksek çözünürlükteki görüntüleri uygulamaları üzerinde işleyerek, kullanıma açık büyük bir görüntü arşiv sistemi ve referans görüntü sistemi oluşturmuşlardır. Google firması görüntülerini Landsat, WordView-1, WordView-2, IKONOS, Spot, Quick Bird, GeoEye gibi birçok uydudan sağlamaktadır.



Şekil 3.22. Google Earth Programı genel görünümü

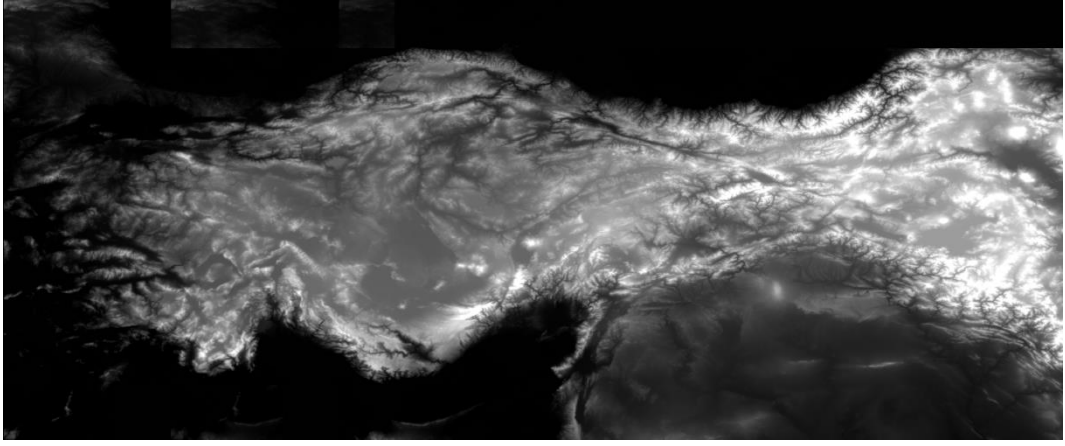
3.14. Sayısal Yükseklik Modeli

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yeryüzü topoğrafyasını en sade ve çıplak şekilde X, Y ve Z yükseklik değeriyle üç boyutlu olarak ifade eden model olarak tanımlanabilir. SYM'ler Sayısal Arazi Modellerinden (SAM) farklı olarak yeryüzü topoğrafyası üzerindeki detayları yansıtmazlar. Bir SAM, topoğrafya üzerindeki bina, bitki örtüsü, orman vb. farklı yükseklik değerlerine sahip detayları içerirken yani görünür yeryüzünü yansıtırken SYM'ler bu detayları tümünden elemine ederek yalnızca çıplak yeryüzünü yansıtan modeli sunarlar. Tüm bu özellikleriyle SYM'ler yeryüzü topoğrafyasını en basit şekilde yansıtan en genel ve yaygın model olarak tanımlanmaktadır.

3.14.1. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SRTM ABD Ulusal Coğrafi İstihbarat Kurumu (NGIA), Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA), Alman ve İtalyan Uzay ajansları arasındaki ortak bir proje ile dünya yüzeyinin %80'inin sayısal yükseklik modelinin oluşturulması amacı ile gerçekleştirilmiş bir projedir. Projede yan bakışlı yapay açıklı radar görüntüleme yöntemi kullanılmış ve böylece dünya yüzeyi üzerinde uzun şeritler halinde görüntüler toplanmıştır. Uzay mekiği Endavour tarafından 11-22 Şubat 2000 tarihleri arasında 10 günlük yörünge uçuşu ile toplanan veriler, 60 derece

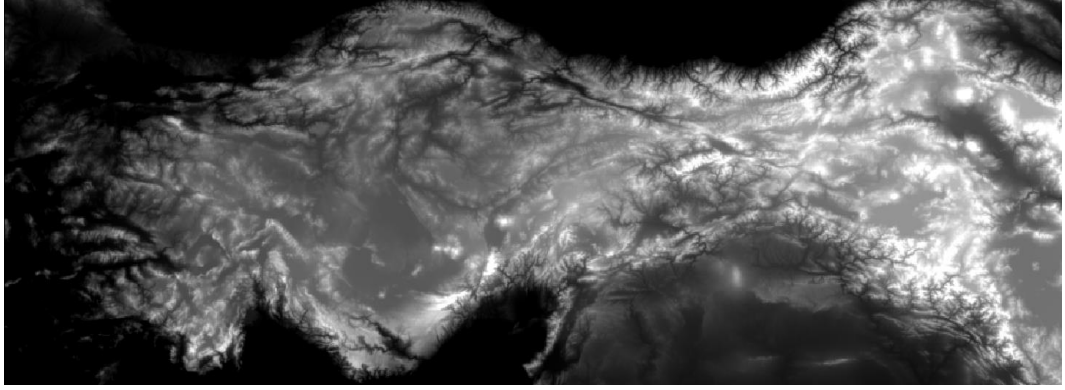
kuzey ve güney enlemleri arasındaki kara parçalarında gerçekleşmiştir. Endavour uydusu 222 saatlik sürekli uçuş ile yeryüzünün %99'unu en az bir kez, %94'ini en az iki kez ve %50'sini de üç ve daha fazla görüntülemiş ve veri toplamıştır. Bu radar sistemi ile toplanan veri, dünyada şimdiye kadar toplanmış en büyük hacimli ve doğruluğu en yüksek veridir.



Şekil 3.23. Türkiye SRTM verisi (90m.)

3.14.2. ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model)

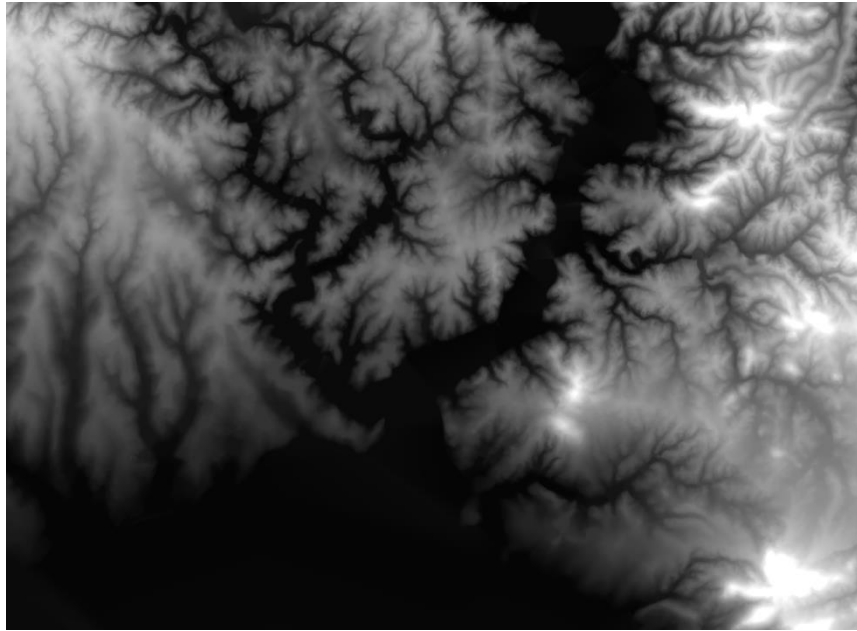
Amerikan-Japon ortaklığında üretilen ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) stereo algılayıcısı ile üretilen ASTER GDEM yükseklik verisi 30 metre çözünürlüktedir. ASTER GDEM verilerini <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> sitesine ücretsiz üye olup istenilen bölgenin SYM verisi indirilebilir. Küresel ölçekte Sayısal yükseklik modeli adı verilen bu çalışma kapsamında 1,3 milyon görüntü NASA'nın uydusu TERRA'ya yerleştirilen Japon JAXA tarafından geliştirilen sensörler ile çekilmiştir. Görüntüler toplam 23 bin mozaikten oluşmuştur.



Şekil 3.24. Türkiye ASTER GDEM verisi (30m.)

3.14.3. DTED 2 (Digital Terrain Elevation Data)

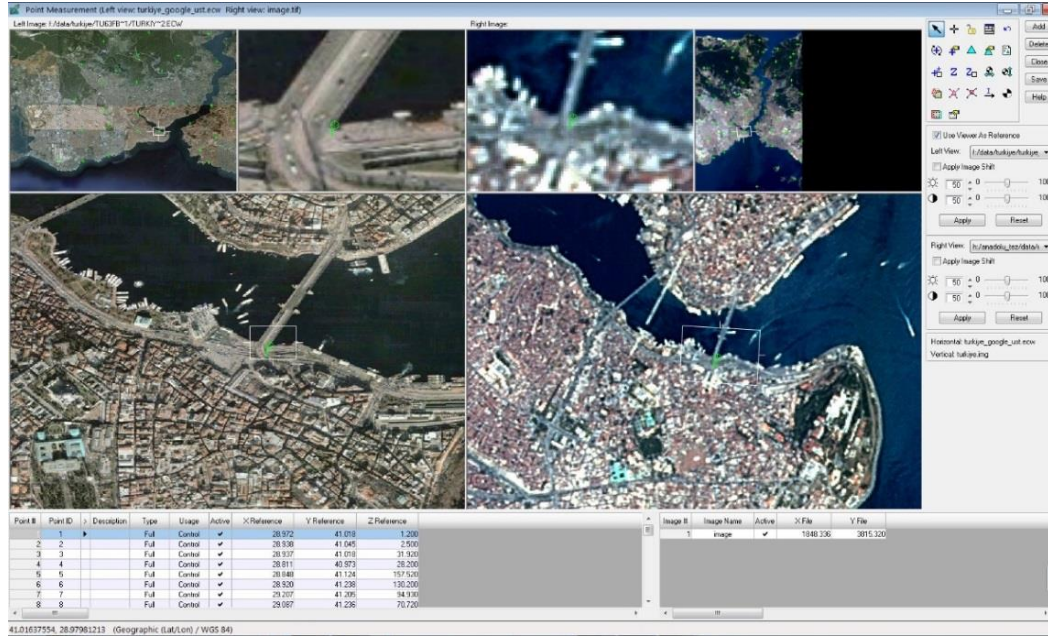
DTED verileri NATO standartlarına göre üretilen sayısal yükseklik verileridir. Çözünürlük ve doğruluk gibi temel özellikler nedeniyle farklı düzeylerde hazırlanmışlardır. 2. Düzey DTED verileri araziye 1x1 saniye (ekvatorda yaklaşık 30 metre) grid aralıklı bir yükseklik model ile temsil eder. NATO STANAG 2215 sınırlarına göre bu verilerin yatay doğruluğu 23 metre, düşey doğruluğu +/- 18 metredir. DTED verileri 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaların eş yükseklik eğrilerinden faydalanılarak üretilmiştir.



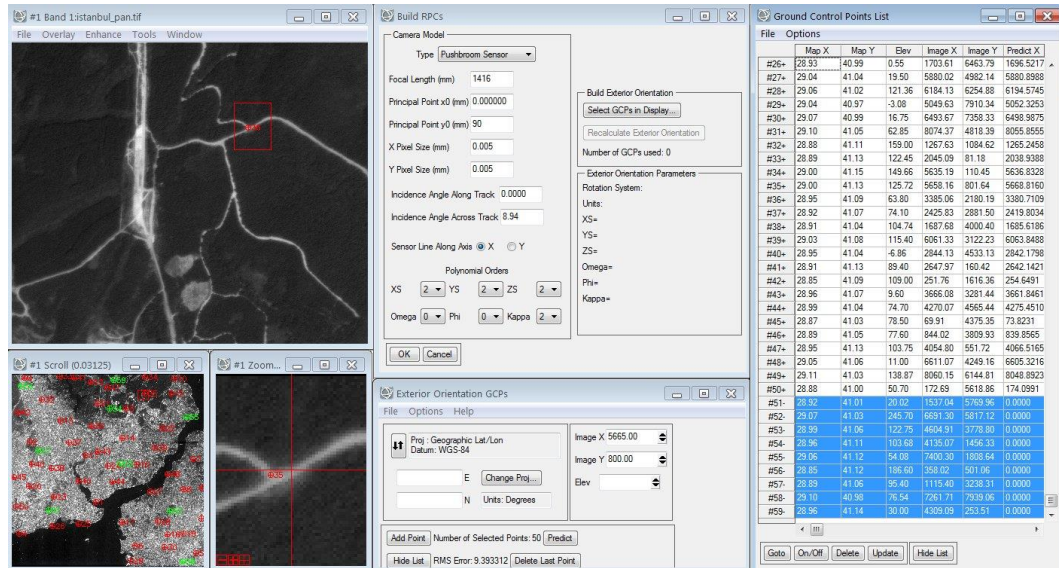
Şekil 3.25. İstanbul DTED verisi (10m.)

3.15. Uzaktan Algılama Yazılımları

Tez çalışmasında ortorektifikasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinde ticari uzaktan algılama yazılımları ERDAS Imagine Leica Photogrammetry Suite 2014 ile ENVI 5.1 kullanılmıştır.



Şekil 3.26. ERDAS IMAGINE LPS ara yüzü



Şekil 3.27. ENVI Ortorectification Tools ara yüzü

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Tez çalışmasında testlerde kullanılan RASAT uydusundan çekilen Ankara, İstanbul ve Osmancık görüntüleri, Göktürk-2 uydusundan çekilen İstanbul ve Ankara görüntüleri kullanılmıştır. Test görüntülerine ait özellikler aşağıdaki Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test görüntülerinin özellikleri

Uydu	Görüntü İsmi	Tarih	Bakış Açısı	Satır	Sütun
RASAT	Ankara	05.02.2014	2.7256°	4096	4096
RASAT	İstanbul	29.07.2013	-1.1703°	6144	4096
RASAT	Osmancık	06.10.2012	-0.484°	4096	4096
Göktürk-2	Ankara	25.06.2013	-1.9275°	8192	8192
Göktürk-2	İstanbul	17.06.2013	8.9481°	8192	8192



Şekil 4.1. Testlerde kullanılan RASAT görüntüleri



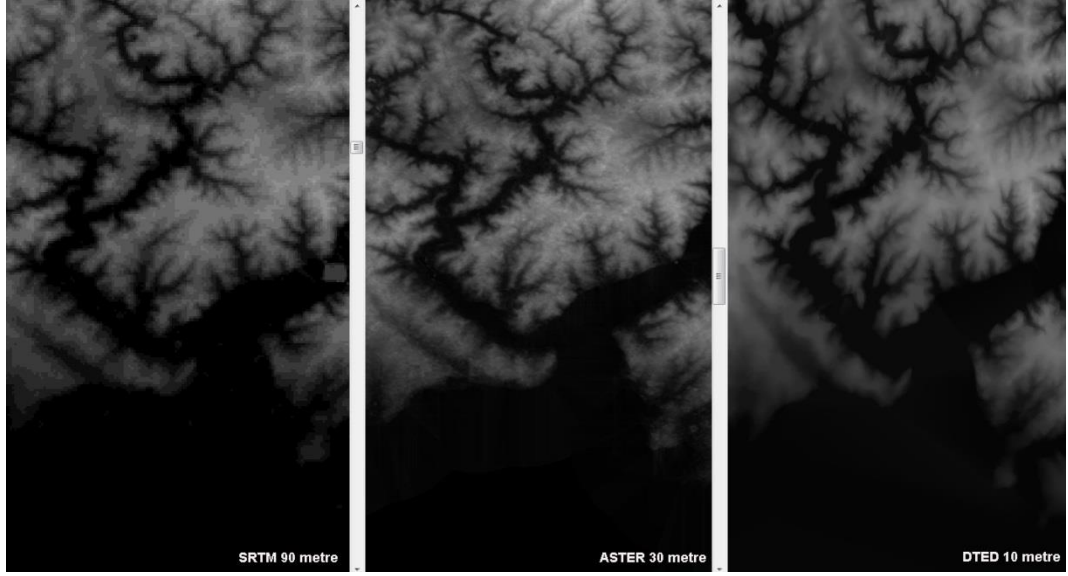
Şekil 4.2. Testlerde kullanılan Göktürk-2 görüntüleri

Yatay eksen düzeltmeleri için referans görüntü olarak Landsat 8 uydusunun 15 metre yersel çözünürlüklü pankromatik 8. Bandı ve 0,5 metre yersel çözünürlüklü Google Earth görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Testlerde kullanılan referans görüntüleri (Landsat 8 15 metre (sol) ve Google Earth 0,5 metre (sağ))

Dikey eksen düzeltmeleri için yükseklik verisi olarak 90 metre çözünürlüklü SRTM, 30 metre çözünürlüklü ASTER ve 10 metre çözünürlüklü DTED kullanılmıştır. SRTM ve ASTER yükseklik verileri internetten ücretsiz indirebilir. DTED verisi ise 1/25000’lik topoğrafik haritalardan elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Testlerde kullanılan yükseklik verileri

4.2. Yöntem

Geometrik düzeltmeleri yapılacak RASAT ve Göktürk-2 test görüntüleri üzerinde referans görüntüler kullanılarak homojen olarak dağıtılan 12, 25 ve 50 adet yer kontrol noktası (YKN) ile 9 adet bağımsız denetim noktası (BDN) belirlenmiştir. Her bir YKN’na göre görüntüler 3 farklı SYM ile ortorektifiye edilmiş, sonrasında bağımsız denetim noktalarındaki yatay ve düşey eksenlerdeki kaymaların ortalama ve karekök ortalama hataların (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır.

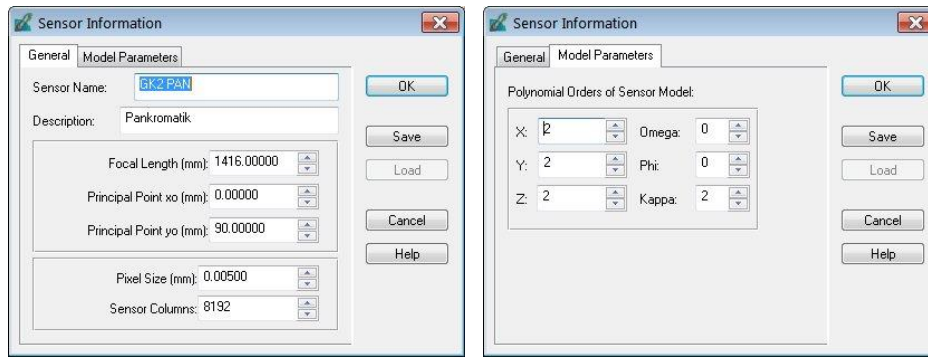
Kamera Sensör Modelinin Tanımlanması

RASAT ve Göktürk-2 uydularının ERDAS LPS ve ENVI programlarında kamera sensör modellerinin tanımlı olmaması nedeni öncelikle bu programlarda kamera sensör modellerinin oluşturulması gereklidir. Bunun için her iki programda da uydu modeli olarak “generic pushbroom” seçilmiştir. Daha sonra RASAT ve Göktürk-2 uydularının pankromatik görüntülerine ait kamera sensör modeli programlarda elle tanımlanmıştır. Kamera üretici firma tarafından sağlanan kamera sensör parametreleri:

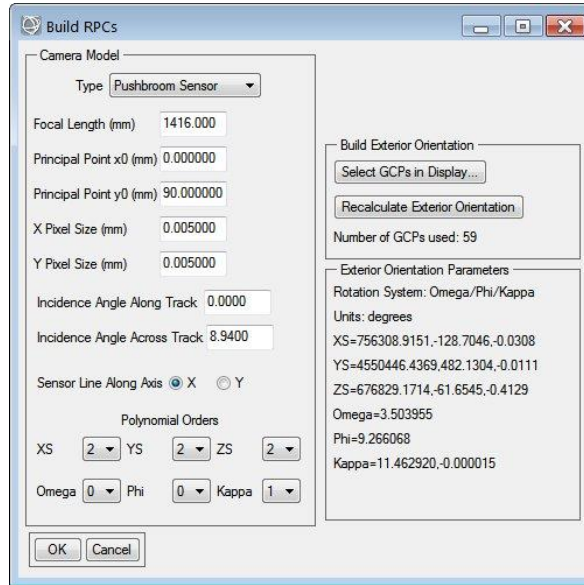
- Odak uzaklığı (focal length),
- Optikten CCD’nin merkezine düşmesi gereken ışının planlanan ile gerçekleşen arasındaki fark (principal point),

- Kamera içindeki CCD'nin x ve y eksenindeki boyutu (Pixel size mm),
- CCD'nin kolon piksel sayısı (Sensör Columns),
- Uydunun dönüklük açıları, (omega, phi, kappa),
- Uydunun görüntü çektiği andaki yer yüzüne bakış açısı (Track incidence) yazılımlara tanımlanmıştır.

Kamera sensör modelinin tanımlanmasıyla görüntülerin dış yöneltmesi (konum ve dönüklük açıları) polinomlar ile hesaplanmıştır.



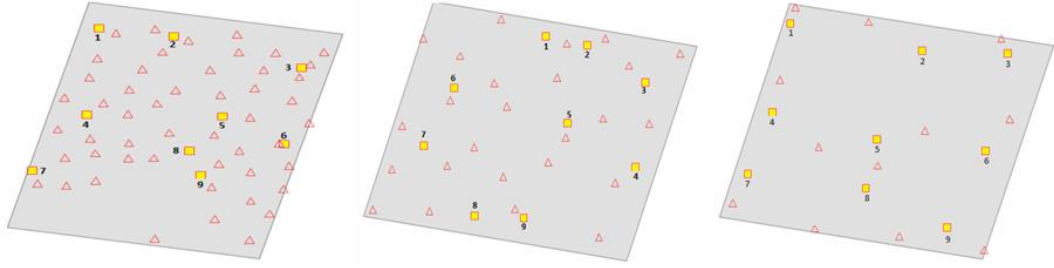
Şekil 4.5. ERDAS LPS programında kamera sensör modelinin tanımlanması



Şekil 4.6. ENVI programında kamera sensör modelinin tanımlanması

Yer Kontrol Noktası ve Bağımsız Denetim Noktası Seçimi

Görüntülere ait kamera sensör modelinin tanımlanmasının ardından test görüntüler üzerinde geometrik düzeltmesi yapılmış, gerçek dünya koordinatları tanımlı referans görüntüler kullanılarak yer kontrol noktası (YKN) ve bağımsız denetim (BDN) toplanmıştır. YKN ve BDN toplanırken özellikle her iki görüntüde ortak olan yol kesişim noktaları, limanlar, köprü yol kesişimleri, belirgin binaların köşeleri, havaalanı pist kesişimleri veya köşeleri, helikopter pistleri gibi belirgin noktalar dikkate alınmıştır. RASAT ve Göktürk-2 test görüntüleri üzerinde referans görüntüler kullanılarak 12, 25 ve 50 yer kontrol noktası (YKN) belirlenmiştir. Bu YKN'ları aralarında mümkün olduğu kadar eşit uzaklıkta olacak şekilde ve görüntü üzerinde homojen bir şekilde dağılan 9 adet bağımsız denetim noktası belirlenmiştir.

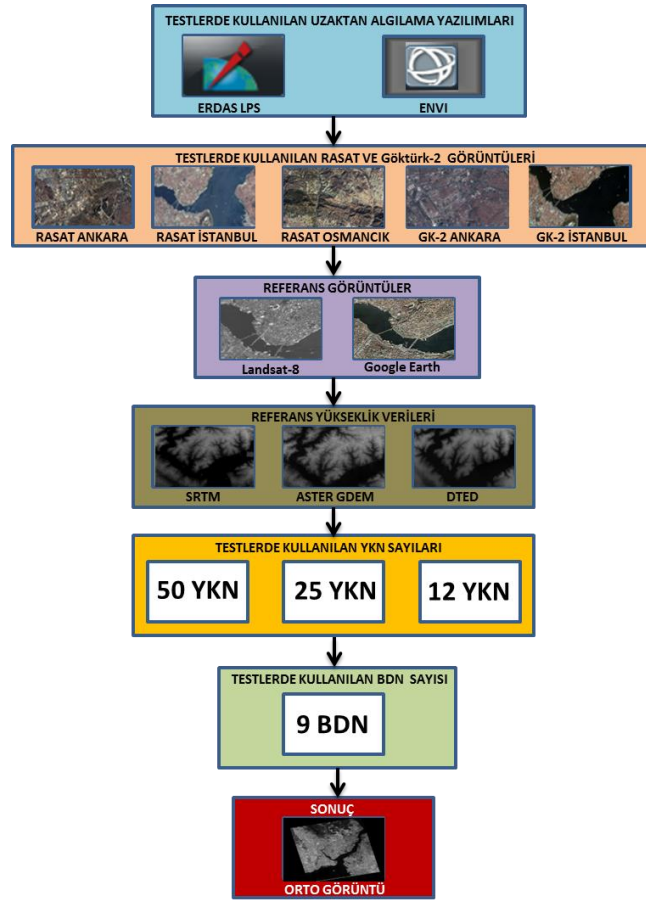


Şekil 4.7. İstanbul 50 YKN (Sol), Ankara 25 YKN (Orta), Osmancık 12 YKN (Sağ) görüntüleri için YKN ve BDN dağılımı. (BDN'ler sarı ile işaretlenmiştir)

Test Görüntülerinin Ortorektifikasyonu ve BDN'lerdeki Hataların Tespit Edilmesi

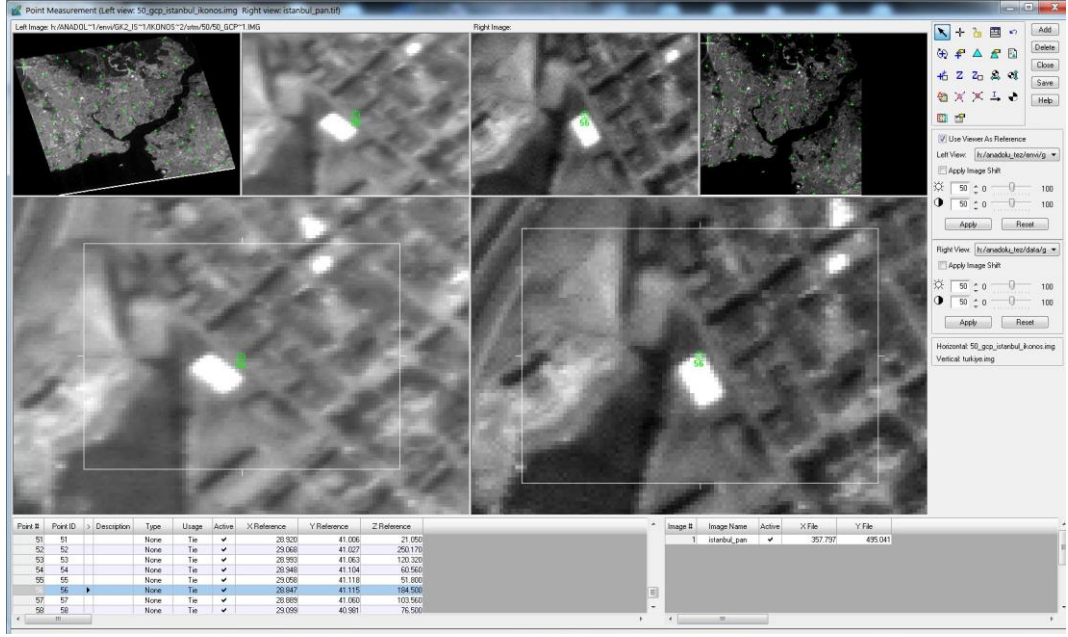
Referans görüntülerden test görüntüleri üzerinde belirlenen YKN ve BDN'lere göre ortorektifikasyon işlemi üç farklı yükseklik verisi (SRTM, ASTER ve DTED) ile yapılmıştır. **Test verileri üzerinde toplam 180 farklı varyasyonda ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.** RASAT Ankara test görüntüsü için önce 12 YKN ve 9 BDN Landsat8 referans görüntüsünden toplanmıştır. Bu görüntü sırası ile SRTM, DTED ve ASTER yükseklik verisine göre ortorektifikasyonu yapılmıştır. Aynı test görüntüsü yine Landsat 8 referans görüntüsü üzerinden 25 YKN ve 9 BDN ile yine SRTM, DTED ve ASTER yükseklik verisine göre ortorektifikasyonu yapılmıştır. Son olarak aynı test görüntüsü Landsat 8 referans görüntüden toplanan 50 YKN ve 9 BDN ile SRTM, DTED ve ASTER yükseklik verisi ile ortorektifikasyonu yapılmıştır. RASAT Ankara test görüntüsü sadece Landsat 8 referans görüntüden toplanan 12, 25 ve 50

YKN'sı ve SRTM, DTED ve ASTER yükseklik verisine göre 9 farklı ortorektifikasyon sonucu elde edilmiştir. Aynı test görüntüsü için bu sefer ortorektifikasyon işlemi 0,5 metre yersel çözünürlükteki referans görüntü olan Google Earth görüntüsü ve yükseklik verileri ile yapılmıştır. Tüm bu işlemler ERDAS LPS ve ENVI'de ayrı ayrı yapıldığında RASAT Ankara test görüntüsü için 36 farklı varyasyonda ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 5 farklı test görüntüsü için 180 farklı varyasyonda görüntü ortorektifikasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.8. RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyon yöntemi

Ortorektifikasyonu yapılan görüntüler için BDN'larındaki yatay ve dikey eksendeki hatalar ERDAS Imagine LPS programında tespit edilmiş ve olması gereken noktalara kaydırılarak x_referans, y_referans ve z_referans değerleri yeniden hesaplatılmıştır.



Şekil 4.9. BND’lerdeki kaymaların yeniden hesaplanması

Ortorektifikasyon İşleminin Performans Analizi

Testlerde RASAT ve Göktürk-2 uyduları için farklı referans ve SYM kullanılarak gerçekleştirilen ortorektifikasyon işleminin performans analizi yapılmıştır. Performans ölçümleri için karekök ortalama hata (RMSE) değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm değerleri metre cinsindendir. Yatay – X, Y ve dikey – Z eksenlerindeki konumsal RMSE değerleri tablolar ile sunulmaktadır. Konumsal hatayı ölçmek için BDN noktaları ortorektifikasyonu yapılmış görüntüde tespit edilerek konum farkı ölçülmüştür.

Göktürk-2 uydusundan çekilen İstanbul görüntüsünün Landsat8 referans görüntüsünden toplanan 12, 25 ve 50 YKN’sının SRTM yükseklik verisine göre 9 adet BDN’nın yatay ve dikey ekseninde metre cinsinden hesaplanan ortalama ve RMSE hataları Çizelge 4.2 ile verilmiştir. Çalışmada bu şekilde 180 farklı varyasyonda hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. ENVI programında 9 adet BDN’nin metre cinsinden ortalama ve RMSE hataları

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	11,81	1,32	12,47	1,44	12,64	1,45
RMSE	12,72	2,21	13,46	1,99	13,39	2,31

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

ERDAS LPS ve ENVI programları kullanılarak 180 farklı varyasyonda yapılan ortorektifikasyon sonucunda elde edilen ortalama ve karesel ortalama hatalar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu çizelgelerde elde edilen sonuçların özeti Araştırma Sonuçları bölümünde detaylı anlatılmıştır.

Çizelge 5.1. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	24,47	0,72	27,22	1,11	27,40	0,92
RMSE	27,61	0,91	29,86	1,37	33,02	1,20

Çizelge 5.2. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	25,72	0,41	26,17	0,43	28,03	0,56
RMSE	28,58	0,58	28,27	0,69	33,82	1,03

Çizelge 5.3. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	24,26	1,05	27,11	0,98	27,77	1,47
RMSE	27,26	1,24	29,61	1,14	34,16	1,63

Çizelge 5.4. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	26,71	0,75	31,04	0,85	32,61	0,96
RMSE	31,64	0,87	35,90	0,93	41,40	1,13

Çizelge 5.5. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	25,34	0,42	31,45	0,50	31,49	0,44
RMSE	29,72	0,56	36,56	0,63	38,92	0,64

Çizelge 5.6. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	25,57	1,70	30,87	1,66	32,38	2,20
RMSE	29,99	2,18	35,68	2,16	38,31	2,71

Çizelge 5.7. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	40,07	1,74	42,41	1,83	43,08	1,80
RMSE	43,45	2,92	45,97	2,93	46,87	2,66

Çizelge 5.8. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	38,41	1,31	43,43	1,45	44,46	1,43
RMSE	42,38	2,30	46,33	2,43	48,34	2,28

Çizelge 5.9. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	38,45	1,80	43,37	1,71	43,81	1,70
RMSE	42,22	2,18	47,30	1,90	48,12	2,07

Çizelge 5.10. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	41,20	1,62	46,57	1,70	48,67	1,96
RMSE	43,92	2,42	50,60	2,36	51,79	2,93

Çizelge 5.11. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	43,32	1,28	47,37	1,41	49,45	1,36
RMSE	45,90	1,69	50,64	1,87	52,84	1,76

Çizelge 5.12. Ankara RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	42,83	2,34	45,05	3,09	49,06	3,32
RMSE	45,19	2,93	48,76	3,42	52,82	4,12

Çizelge 5.13. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	16,27	0,84	16,27	0,84	17,30	0,64
RMSE	16,60	1,06	16,60	1,06	22,16	0,89

Çizelge 5.14. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	15,61	0,41	17,41	0,35	18,96	0,26
RMSE	16,78	0,70	18,59	0,63	21,47	0,45

Çizelge 5.15. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	16,68	1,54	17,67	1,58	18,47	1,42
RMSE	18,24	1,66	18,64	1,81	22,16	1,86

Çizelge 5.16. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	17,66	0,51	20,54	0,50	22,64	0,71
RMSE	19,48	0,78	22,47	0,78	24,82	1,01

Çizelge 5.17. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	16,84	0,33	20,72	0,40	22,18	0,24
RMSE	19,22	0,82	22,70	1,03	25,51	0,56

Çizelge 5.18. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	16,51	1,66	20,77	1,80	22,38	2,43
RMSE	18,84	2,20	22,55	2,27	25,15	2,82

Çizelge 5.19. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	23,35	1,15	23,93	0,78	27,41	1,06
RMSE	25,90	1,60	26,41	1,02	31,19	1,36

Çizelge 5.20. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	24,33	0,51	25,69	0,58	30,31	0,74
RMSE	26,90	0,88	28,72	0,85	33,54	1,14

Çizelge 5.21. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	23,56	1,86	24,72	2,09	29,23	1,76
RMSE	26,32	2,18	27,33	2,36	32,23	2,15

Çizelge 5.22. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	22,58	1,10	24,92	1,20	26,54	1,44
RMSE	25,01	1,46	27,31	1,78	28,68	2,13

Çizelge 5.23. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	23,69	0,22	25,08	0,60	27,97	1,10
RMSE	25,64	0,38	27,05	1,17	29,73	2,31

Çizelge 5.24. İstanbul RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	23,29	2,23	26,52	2,08	27,54	2,24
RMSE	26,10	3,35	30,32	3,30	29,58	2,93

Çizelge 5.25. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	16,02	1,06	22,90	2,26	25,49	2,95
RMSE	20,90	1,43	26,13	2,51	28,21	4,04

Çizelge 5.26. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	17,13	1,15	21,37	1,32	22,90	1,88
RMSE	22,00	1,88	25,45	1,90	26,92	2,71

Çizelge 5.27. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	17,15	2,13	19,31	2,32	22,69	2,75
RMSE	22,42	2,92	22,22	3,18	26,67	3,72

Çizelge 5.28. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	15,59	2,02	17,07	0,00	19,48	2,80
RMSE	16,87	2,62	18,74	0,00	21,29	3,71

Çizelge 5.29. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	13,39	1,58	16,77	1,62	18,35	2,57
RMSE	15,26	2,14	18,07	2,12	20,13	3,87

Çizelge 5.30. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,58	14,39	15,50	14,14	21,30	13,46
RMSE	14,48	18,14	17,30	17,79	23,05	16,79

Çizelge 5.31. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	27,61	2,94	28,23	3,58	29,21	3,56
RMSE	29,06	4,32	29,36	5,40	30,65	4,65

Çizelge 5.32. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	28,19	1,99	28,63	2,32	30,23	2,75
RMSE	29,35	2,56	29,61	3,08	30,94	3,79

Çizelge 5.33. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	29,16	3,85	29,98	4,49	32,59	3,68
RMSE	29,98	5,47	31,42	5,89	33,80	4,85

Çizelge 5.34. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	23,14	3,42	26,48	3,36	29,57	3,41
RMSE	24,06	4,74	27,33	4,75	30,69	4,29

Çizelge 5.35. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	24,80	3,34	26,78	3,79	26,91	2,54
RMSE	25,63	5,60	27,58	6,25	28,05	3,46

Çizelge 5.36. Osmancık RASAT Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	26,32	3,95	27,82	4,05	30,72	3,77
RMSE	26,75	5,53	28,35	5,62	31,12	4,96

Çizelge 5.37. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	8,50	2,06	10,35	2,23	12,50	2,45
RMSE	9,27	3,05	11,42	3,33	13,30	3,44

Çizelge 5.38. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	8,38	0,64	10,15	0,91	12,52	1,11
RMSE	9,14	0,83	11,18	1,24	13,31	1,48

Çizelge 5.39. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	8,39	1,80	9,96	2,14	12,38	2,74
RMSE	9,25	2,26	11,33	2,75	13,16	3,28

Çizelge 5.40. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,53	2,27	15,38	2,57	17,60	2,87
RMSE	11,18	3,29	16,79	3,78	18,81	4,02

Çizelge 5.41. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,63	0,74	15,41	1,63	17,52	1,76
RMSE	11,25	1,25	16,91	2,53	18,83	2,45

Çizelge 5.42. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,13	2,40	15,31	3,60	17,29	3,84
RMSE	10,66	2,95	16,69	4,49	18,63	5,23

Çizelge 5.43. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,00	1,35	11,56	1,32	13,65	1,20
RMSE	10,47	1,70	12,04	1,68	14,15	1,63

Çizelge 5.44. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,30	0,93	11,48	1,03	12,98	1,18
RMSE	10,73	1,28	11,98	1,44	13,40	0,00

Çizelge 5.45. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	10,15	2,13	11,63	2,39	13,00	2,37
RMSE	10,50	2,58	12,05	2,85	13,49	2,81

Çizelge 5.46. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,67	2,54	17,69	3,11	20,13	3,38
RMSE	13,11	4,10	18,70	4,59	20,89	4,78

Çizelge 5.47. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,59	0,98	18,07	2,02	19,64	2,34
RMSE	13,01	1,41	19,18	3,21	20,47	3,66

Çizelge 5.48. Ankara Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,08	3,38	17,84	4,49	19,61	4,91
RMSE	12,50	4,34	18,99	5,56	20,39	6,45

Çizelge 5.49. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,22	1,22	7,70	1,33	8,63	1,54
RMSE	8,42	1,53	9,20	1,69	10,33	2,44

Çizelge 5.50. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,38	0,95	7,66	1,17	8,68	1,17
RMSE	8,58	1,56	9,16	1,89	10,19	1,89

Çizelge 5.51. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,26	1,16	7,59	1,08	8,77	1,35
RMSE	8,59	1,73	9,15	1,45	10,41	1,95

Çizelge 5.52. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,62	1,82	13,19	1,76	13,89	1,86
RMSE	13,56	2,41	13,95	2,42	15,20	2,57

Çizelge 5.53. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,40	1,85	13,08	1,60	14,23	1,57
RMSE	13,36	2,82	13,62	2,46	15,42	2,41

Çizelge 5.54. İstanbulGöktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ERDAS Referans:Landsat-8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,42	1,75	13,11	1,46	14,60	1,85
RMSE	13,37	2,24	13,72	1,83	15,71	2,52

Çizelge 5.55. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,45	1,26	7,77	1,43	8,61	1,23
RMSE	8,12	1,64	8,93	1,94	9,04	1,85

Çizelge 5.56. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,44	0,57	7,73	0,69	8,82	0,91
RMSE	8,11	0,98	8,39	1,16	11,26	2,11

Çizelge 5.57. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Google DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	7,95	1,21	8,17	0,94	8,49	1,10
RMSE	8,84	1,39	9,21	1,08	9,32	1,30

Çizelge 5.58. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:SRTM

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	12,05	1,21	12,12	1,16	13,13	1,57
RMSE	12,85	1,46	13,08	1,58	13,88	1,91

Çizelge 5.59. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:DTED

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	11,90	1,47	11,92	1,30	12,52	1,25
RMSE	12,79	2,08	12,92	2,05	13,37	1,90

Çizelge 5.60. İstanbul Göktürk-2 Görüntüsü Yazılım:ENVI Referans:Landsat-8 DEM:ASTER

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Ortalama	11,81	1,32	12,47	1,44	12,64	1,45
RMSE	12,72	2,21	13,46	1,99	13,39	2,31

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

180 farklı varyasyonda yapılan ortorektifikasyon bulguları sonucunda ilk önce yüksek çözünürlüklü referans görüntünün, SYM etkisinin YKN sayısı ile ilişkisi araştırılmıştır. Daha sonra referans görüntünün çözünürlüğünün Ortorektifikasyon başarımına YKN sayısının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca ERDAS ve ENVI programlarının Ortorektifikasyon sonucunda verdikleri rapor sonuçları yorumlanmış ve diğer bulgularla karşılaştırılmıştır.

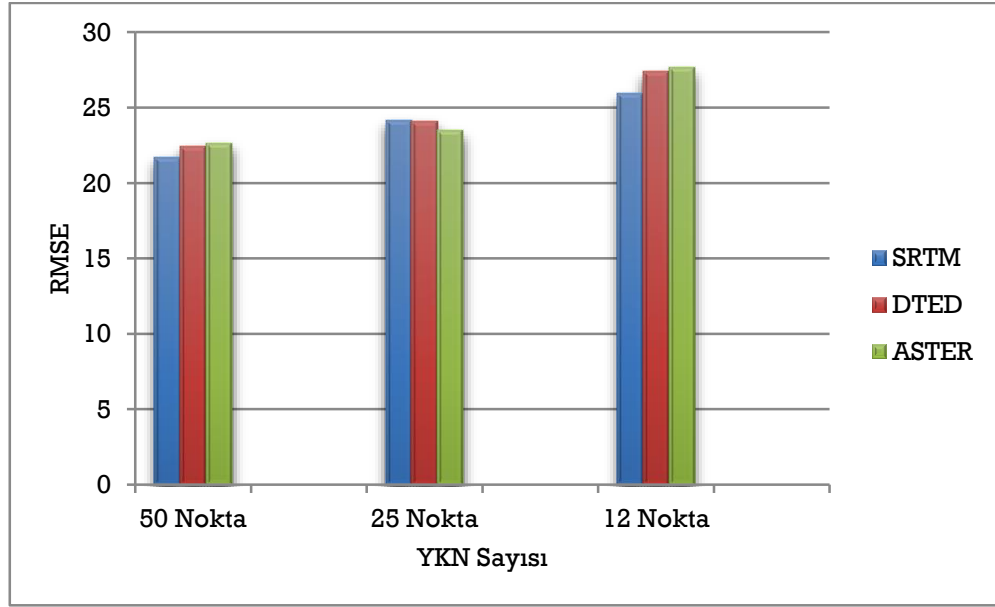
6.1. ERDAS LPS Araştırma Sonuçları

ERDAS LPS ile yapılan testlerde; SYM etkisinin YKN ile ilişkisi incelenmiş ve referans görüntü olarak yüksek çözünürlüklü Google Earth (0,5 metre) kullanılmıştır. Referans görüntünün çözünürlüğe etkisinin araştırıldığı testlerde ise SYM olarak SRTM kullanılmıştır.

RASAT ve Göktürk-2 için yüksek sayıda YKN ile kullanılan SYM'nin etkisi azalmakta, daha az sayıda YKN ile ortorektifikasyon işleminin gerçekleştirilmesi halinde ise DTED SYM ile dikey doğrultuda daha hassas konum doğruluğu sağlanabilmektedir. (Çizelge 6.1) (Çizelge 6.2)

Çizelge 6.1. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

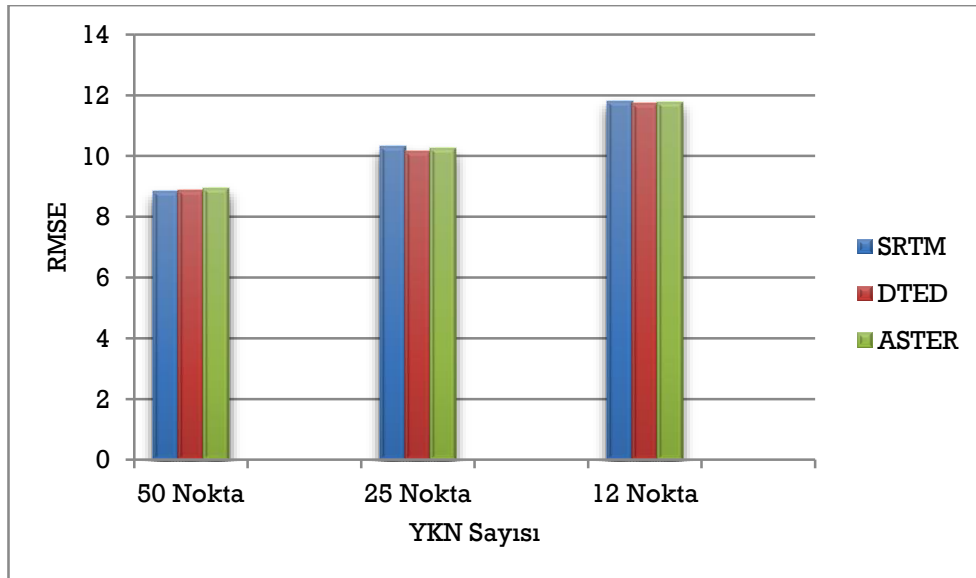
	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
SYM	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
SRTM	21.70	1.13	24.19	1.65	25.94	2.04
DTED	22.46	1.05	24.10	1.08	27.40	1.40
ASTER	22.64	1.94	23.49	2.04	27.66	2.40



Şekil 6.1. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Çizelge 6.2. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

SYM	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
SRTM	8.84	2.29	10.31	2.51	11.81	2.94
DTED	8.86	1.19	10.17	1.57	11.75	1.69
ASTER	8.92	1.99	10.24	2.10	11.78	2.62



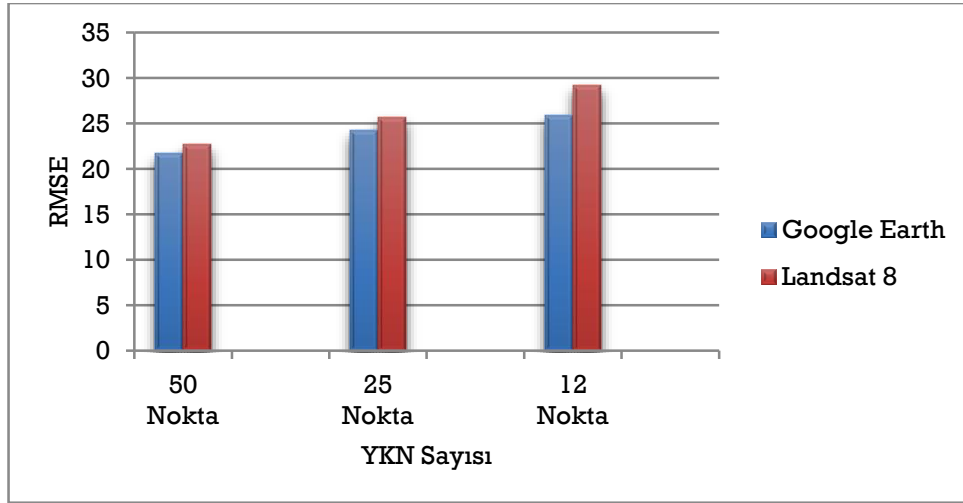
Şekil 6.2. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Orta çözünürlüğe sahip RASAT görüntülerinin ortorektifikasyonu için kullanılan referansın yatay konum doğruluğuna etkisi 50 ve 25 nokta için belirleyici olmamak ile birlikte, kullanılan nokta sayısı azaldıkça yatay konum doğruluğu azalmaktadır.

Düşük çözünürlüklü Landsat 8 referansına göre yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı, 12, 25 ve 50 YKN’nda yüksek konum doğruluğu sağlanmaktadır. Yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile 25 ve 12 nokta ile benzer sonuçlar alınmaktadır. (Çizelge 6.3)

Çizelge 6.3. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
Referans	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Google Earth	21.70	1.13	24.19	1.65	25.94	2.04
Landsat 8	22.66	1.42	25.70	0.57	29.17	1.95

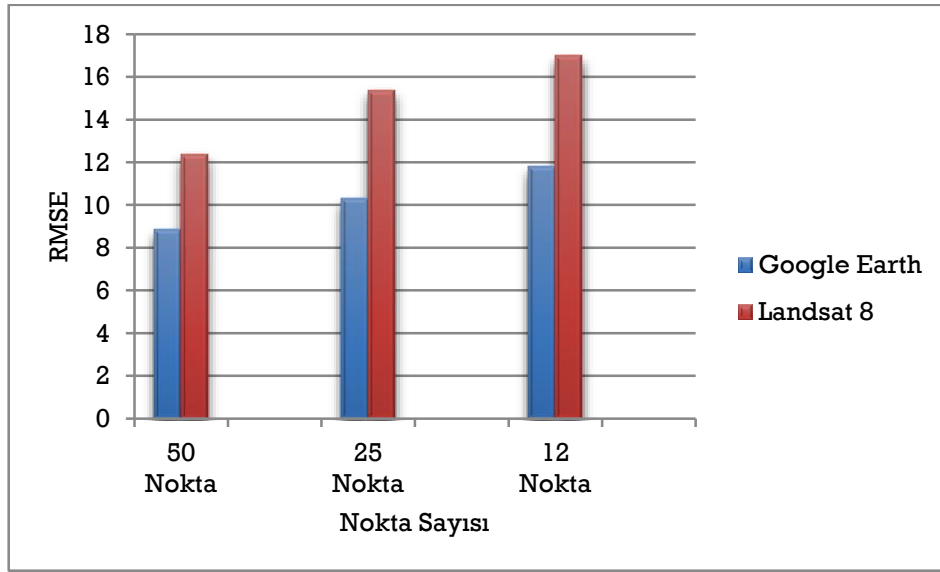


Şekil 6.3. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyonu yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile orta çözünürlüklü Landsat 8 referansına göre daha yüksek konum hassasiyeti sağlanmaktadır. (Çizelge 6.4.)

Çizelge 6.4. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
Referans	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Google Earth	8.84	2.29	10.31	2.51	11.81	2.94
Landsat 8	12.37	2.85	15.37	3.10	17.01	3.30



Şekil 6.4. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Dikey konum doğruluk değerleri, yatay konumsal hata ve YKN etrafındaki yer şekillerinin yükseklik farklarına göre değişebilmektedir. YKN sayısı azaldıkça yatay doğruluk azalmakta, dolayısı ile dikey doğrulukta azalabilmektedir.

Çizelge 6.5 ile testlerde kullanılan görüntülerin YKN verilerinin rapor sonuçları verilmektedir. RMSE (model) ile YKN noktalarının 2. derece polinom model'e göre hatası verilmekte, RMSE (piksel) değeri ise piksellerin bu modele göre yeniden örneklenmesi sonucu elde edilen hata piksel boyutu cinsinden verilmektedir. Görüntülerde piksel boyutları kare olmadığı için değerler metre cinsinden hesaplanarak verilmiştir. YKN hata değerlerinin BDN hata değerlerine göre daha düşük çıkması beklenmektedir. Buna rağmen BDN hata değerleri

ERDAS LPS YKN hata değerlerine göre Göktürk-2 için daha düşük çıkmaktadır. RASAT için BDN hata değerleri YKN değerlerine göre daha yüksek olmaktadır.

Çizelge 6.5. ERDAS LPS programına göre görüntülerin ortorektifikasyon raporları (Referans: Google Earth, YKN:50, SYM: SRTM)

Görüntü	RMSE (model)	X	Y	RMSE (piksel)	RMSE (metre)
GK2 İstanbul	0.51	4.47	2.42	5.08	13.09
GK2 Ankara	0.25	3.62	3.08	4.75	12.58
RASAT İstanbul	0.01	1.38	1.22	1.84	13.80
RASAT Ankara	0.15	2.42	1.56	2.88	21.61
RASAT Osmancık	0.08	1.46	1.29	1.95	14.61

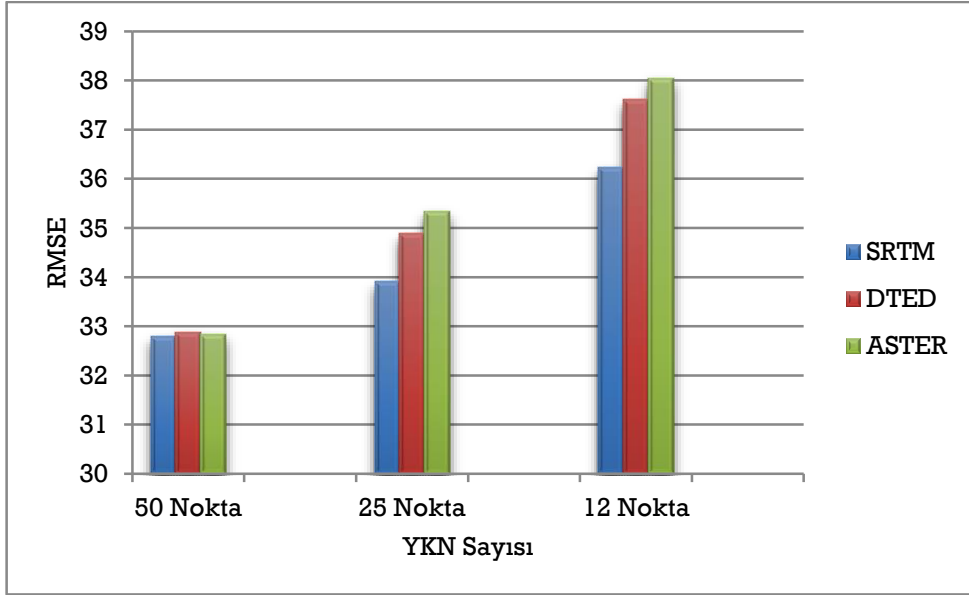
6.2. ENVI Araştırma Sonuçları

ENVI ile yapılan testlerde; SYM etkisinin YKN ile ilişkisi incelenmiş ve referans görüntü olarak yüksek çözünürlüklü Google Earth (0,5 metre) kullanılmıştır. Referans görüntünün çözünürlüğe etkisinin araştırıldığı testlerde ise SYM olarak SRTM kullanılmıştır.

RASAT için yüksek sayıda YKN ile kullanılan SYM'nin etkisi sadece DTED SYM ile yapılan ortorektifikasyon işleminde etkisi artmaktadır. 12, 25 ve 50 YKN ile gerçekleştirilen ortorektifikasyon işleminde en iyi hassasiyet DTED SYM ile sağlanmaktadır. ASTER SYM'nin etkisi her durumda en düşük gerçekleşmiştir. (Çizelge 6.6.)

Çizelge 6.6. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

SYM	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
SRTM	32.80	2.95	33.91	3.12	36.24	2.89
DTED	32.88	1.91	34.89	2.12	37.61	2.40
ASTER	32.84	3.28	35.35	3.38	38.05	3.02

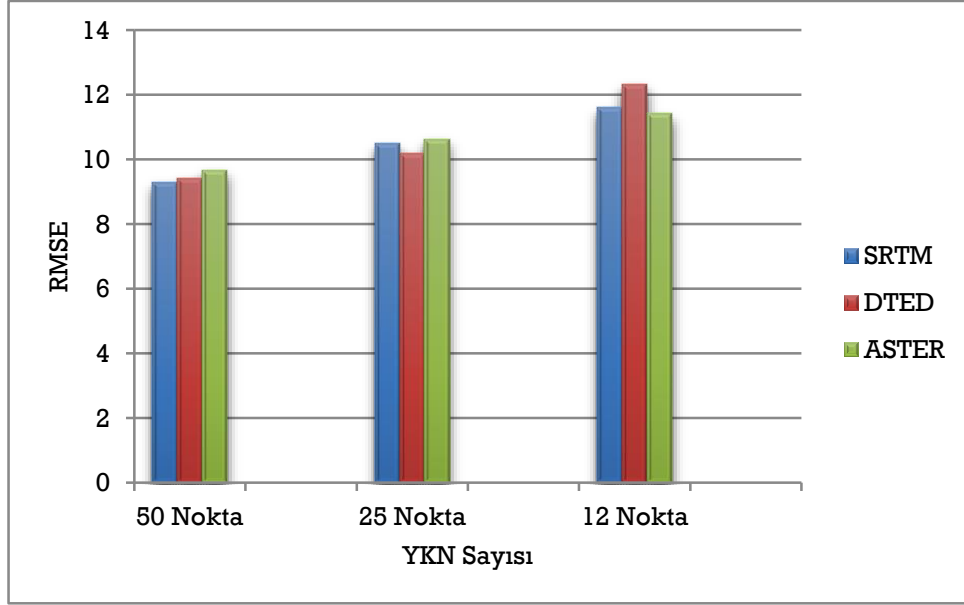


Şekil 6.5. RASAT ortorektifikasyon başarımına SYM ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Yüksek çözünürlüklü Göktürk-2 için SYM etkisi 50, 25 ve 12 YKN için belirleyici olmamakla birlikte dikey doğrultuda en yüksek doğruluk 12 YKN ile DTED SYM ile sağlanmıştır. (Çizelge 6.7.)

Çizelge 6.7. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM seçimi ve YKN sayısının etkisi

SYM	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
SRTM	9.30	1.67	10.49	1.81	11.60	1.74
DTED	9.42	1.13	10.19	1.30	12.33	1.06
ASTER	9.67	1.99	10.63	1.97	11.41	2.06

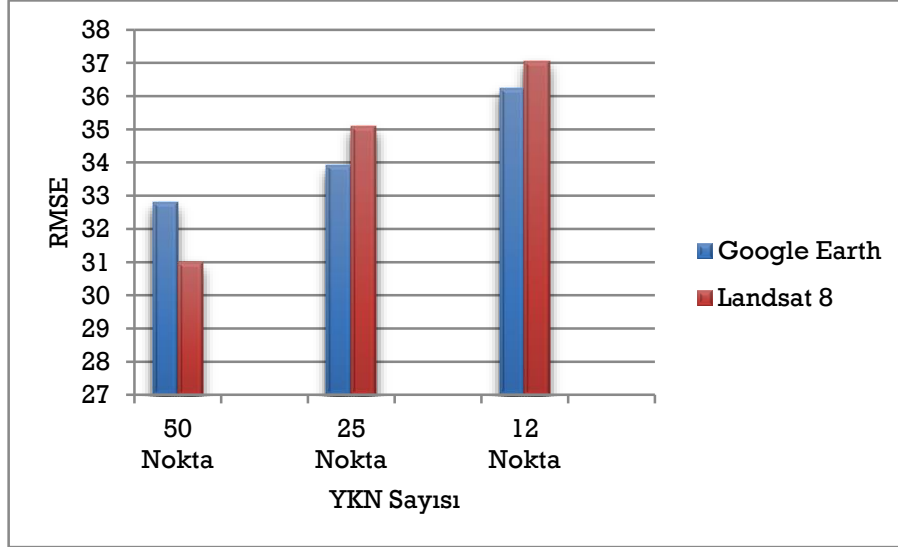


Şekil 6.6. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına SYM ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Orta çözünürlüğe sahip RASAT görüntülerinin ortorektifikasyonu için kullanılan referansın yatay konum doğruluğuna etkisi 50 ve 25 nokta için belirleyici olmamak ile birlikte, kullanılan nokta sayısı azaldıkça yatay konum doğruluğu azalmaktadır. (Çizelge 6.8.) Yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile yapılan ortorektifikasyon işleminde yüksek doğruluk olması beklenirken, orto çözünürlüklü Landsat 8 referansı ile benzer sonuçlar alınmıştır. En iyi konumsal doğruluk 50 YKN sayısı ile Landsat 8 referansı ile gerçekleştirilen ortorektifikasyon sonucunda alınmıştır.

Çizelge 6.8. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

Referans	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Google Earth	32.80	2.95	33.91	3.12	36.24	2.89
Landsat 8	31.00	2.87	35.08	2.96	37.05	3.12

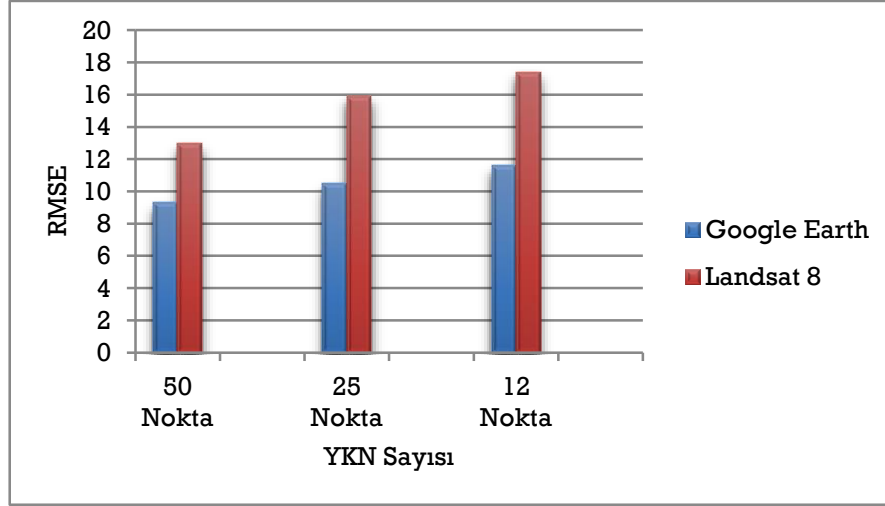


Şekil 6.7. RASAT ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile 25 ve 12 nokta ile benzer sonuçlar alınmaktadır. Göktürk-2 görüntülerinin ortorektifikasyonu yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile orta çözünürlüklü Landsat 8 referansına göre daha yüksek konum hassasiyeti sağlanmaktadır. En yüksek doğruluk yüksek çözünürlüklü Google Earth referansı ile 50 YKN’nda gerçekleşmiştir. (Çizelge 6.9.)

Çizelge 6.9. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN sayısının etkisi

Referans	50 Nokta		25 Nokta		12 Nokta	
	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
Google Earth	9.30	1.67	10.49	1.81	11.60	1.74
Landsat 8	12.98	2.78	15.89	3.09	17.39	3.35



Şekil 6.8. Göktürk-2 ortorektifikasyon başarımına referans seçimi ve YKN etkisinin grafiksel gösterimi

Dikey konum doğruluk değerleri, yatay konumsal hata ve YKN etrafındaki yer şekillerinin yükseklik farklarına göre değişebilmektedir. YKN sayısı azaldıkça yatay doğruluk azalmakta, dolayısı ile dikey doğrulukta azalabilmektedir.

Çizelge 6.10 ile testlerde kullanılan görüntülerin YKN verilerinin rapor sonuçları verilmektedir. RMSE(model) ile YKN noktalarının 2. derece polinom model'e göre hatası verilmekte, RMSE (piksel) değeri ise piksellerin bu modele göre yeniden örneklenmesi sonucu elde edilen hata piksel boyutu ve metre cinsinden verilmektedir. YKN hata değerlerinin BDN hata değerlerine göre daha düşük çıkması beklenmektedir. ENVI tarafından raporlanan YKN değerleri BDN değerlerinden daha iyi olması beklenmektedir. RASAT için bu değerler çok daha iyi (piksel altı) olmak ile birlikte Göktürk-2 için benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.10. ENVI programına göre görüntülerin ortorektifikasyon raporları (Referans: Google Earth, YKN:50, SYM: SRTM)

Görüntü	X	Y	RMSE (piksel)	RMSE (metre)
GK2 İstanbul	3.62	2.41	4.35	10.88
GK2 Ankara	3.00	2.93	4.19	10.49
RASAT İstanbul	1.20	1.21	1.71	4.27
RASAT Ankara	3.11	1.48	3.44	8.60
RASAT Osmancık	1.63	1.32	2.09	5.24

7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada RASAT ve Göktürk-2 görüntülerinin operatör yardımı ile ERDAS LPS ve ENVI yazılımı ile toplamda 180 farklı varyasyonda farklı sayıda YKN, farklı SYM ve farklı referanslar ile ortorektifikasyon başarımları sunulmuştur.

ERDAS LPS ile gerçekleştirilen ortorektifikasyon işlemlerinde ENVI yazılımına göre daha yüksek doğruluk sağlanmıştır. Ortorektifikasyon araçlarının raporladığı doğruluk değerleri ile görüntünün genel konumsal doğruluk değerleri her zaman benzer olamamaktadır.

Yatay eksen konum doğruluğu SYM'den bağımsız olmak ile birlikte yüksek çözünürlüklü SYM ile dikey ekseninde daha yüksek konum doğruluğu sağlanabilmektedir.

RASAT görüntüleri için orta ve yüksek çözünürlüklü referans görüntüleri ile benzer konumsal doğruluk değerleri elde edilmiştir. Bazı durumlarda daha az YKN sayısı ile daha yüksek konumsal doğruluk değeri elde edilmiştir.

ENVI'nin YKN raporlarına göre bulduğu doğruluk değerleri ERDAS LPS'ten daha yüksek konum hassasiyetine sahiptir. Buna karşılık BDN'lerin konumları ölçüldüğünde, ERDAS LPS daha yüksek doğruluk değerleri üretmiştir.

RASAT görüntüleri için SYM etkisi YKN sayısı ile orantılı bir konumsal artışı görülmemiştir.

Göktürk-2 görüntüler ile yüksek çözünürlüklü Google Earth referans görüntüsü ile daha yüksek konumsal doğruluk sağlanabilmektedir.

Göktürk-2 görüntüler ile yüksek çözünürlüklü DTED SYM ile daha yüksek konumsal doğruluk sağlanabilmektedir.

Göktürk-2 gibi yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin mümkün olduğunca ortofoto gibi yüksek konumsal doğruluğa sahip referans verileri kullanılarak başarımlar artırılabilir.

Kullanılan referans, SYM ve YKN yanında kullanılan örnekleme yönteminin (2.derece/3. Derece polinom vs.) ortorektifikasyon performansı araştırılmalıdır.

Testlerin sonuçları sadece referans görüntülerin kendi konum hassasiyetleri için değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçların 45 cm yersel çözünürlüklü ve 2 metrenin altındaki konum hassasiyeti olan ortofotolar üzerinde araştırılmalıdır.

Operatörler tarafından el ile yapılan ortorektifikasyon emek gerektirdiği ve dikkat istediği için otomatik görüntü georeferanslama yöntemleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aguilar, M. A. (2013), Assessing geometric accuracy of the orthorectification process from GeoEye-1 and WorldView-2 panchromatic images, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 427-435.
- Anonim (2014), SPOT-6 and SPOT-7 Commercial Imaging Constellation, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-6-7>.
- SPOT-6 and SPOT-7 Commercial Imaging Constellation, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-6-7>.
- Anonim (2014), WorldView Geolocation Accuracy, http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/WorldView_Geolocation_Accuracy.pdf.
- Anonim (2014), Hexagone Spatial, <http://www.hexagongeospatial.com/products/remote-sensing/erdas-imagine/overview>.
- Bresnahan, P. C. (2012), Geolocation Accuracy Re-Evaluation of GeoEye-1 and QuickBird-2, http://calval.cr.usgs.gov/wordpress/wp-content/uploads/Bresnahan_Paul_JACIE2012_NIQU_CCAP_Geolocation_Accuracy_GE1_QB2_Approved-for-Public-Release-12-182.pdf
- Büyüksalih, G. (2011), Doğrusal Dizin (PUSHBROOM) Görüntüleme Sistemleri, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 6(2-3).
- Cheng, P. v. (2001), Ortho Rectification and DEM Generation from High Resolution Satellite Data, Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5, s. 9.
- CNET. (2014), <http://www.cnet.com/news/attention-google-maps-fans-here-come-geoeye-photos/>
- Digital Globe Geolocation Accuracy of WorldView Products. (2014), http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/WorldView_Geolocation
- ENVI Products. (2014), ENVI Products, <http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVIProducts/ENVI.aspx>
- EOPORTAL Pleiades. (2014), <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/p/pleiades>

- EOPORTAL SPOT 6. (2014), <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-6-7>
- Erdogan, M., Eker, O., & Yilmaz, A. (2013), RASAT Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluğu. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Erdogan, M., Eker, O., & Yilmaz, A. (2013). Yer Kontrol Noktası Sayı ve Dağılımına Göre Rasat Uydu Görüntülerinin Geometrik Düzeltme Doğruluğunun Araştırılması, Harita Dergisi, 150.
- Explorer, E. (2014), Earth Explorer. Earth Explorer. <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Guide, I. I. (2014), IKONOS Imagery Products Guide. http://glcf.umd.edu/library/guide/IKONOS_Product_Guide_jan06.pdf
- Göktürk-2 Uydusu. (2014), Göktürk-2 Uydusunun Teknik Özellikleri, <http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/projeler/gokturk-2>
- H. Topan, D. (2010). GEOSPOT: Doğrusal Dizi Uydu Görüntülerinin Uydu Yörünge Parametreleri İle Demet Dengelenmesi, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – Kocaeli.
- H. Topan, G. B. (2005), IRS-1C Düzey 1B Görüntüsünün Geometrik Analizinin Sensör Yönelme Modelleriyle ve Değişik Referans Verileriyle İrdelenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mart 2005, Ankara.
- H. Topan, M. O. (2007), Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2 – 6 Nisan 2007, Ankara.
- Hoja, D., Schneider, M., Müller, R., Lehner, M., & Reinartz, P. (2008), Comparison of orthorectification methods suitable for rapid mapping using direct georeferencing and Rpc for optical satellite data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1617-1624.
- Junfeng, X., & Jingfeng, H. (2006), Orthorectification of IKONOS and impact of different resolution DEM, Geo-spatial Information Science, 9(2), 108-111.

- Kahraman, Ö. Ö. (2012), Uzaktan Algılamada RASAT: Türkiye'de Üretilen İlk Yer Gözlem Uydusu, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim 2012, Zonguldak.
- KAYA, Ş. v., & Şahin, M. (2002), Uydu Görüntülerinin Çözünürlüğe Bağlı Geometrik Doğruluğunun GPS ve Harita Koordinatları Kullanarak Analizi, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Konya.
- Küpcü, R., Teke, M., & Alper, Ç. (2014), RASAT VE Göktürk-2 Görüntülerinin Ortorektifikasyon Başarımına Referans ve Sayısal Yükseklik Modeli Seçiminin Etkisi, 5. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, (UZAL-CBS 2014), İstanbul
- RASAT Uydusu. (2013), RASAT Uydusunun Teknik Özellikleri,
<http://uzay.tubitak.gov.tr/tr/uydu-uzay/rasat>
- Saroğlu, E. K. (2005), Farklı Çözünürlükteki Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.
- Satellite Imaging Corporation, IKONOS. (2014),
<http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos/ikonos-palm-islands/>
- Satellite Imaging Corporation. (2014), Orthorectification process of remote sensed image data,
http://legacy.satimagingcorp.com/media/images/Orthorectification_Leica_19-NOV-05.jpg
- Satellite Imaging Corporation, Pleiades. (2014),
<http://www.satimagingcorp.com/gallery/pleiades-1b/pleiades-1b-rotterdam-netherlands/>
- Satellite Imaging Corporation, Pleiades. (2014),
<http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/pleiades-1-abu-dhabi.jpg>
- Satellite Imaging Corporation, Pleiades. (2014),
<http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/pleiades-1-san-francisco.jpg>
- Satellite Imaging Corporation, SPOT-6. (2014),
<http://www.satimagingcorp.com/gallery/spot-6/spot-6-istanbul-turkey/>

- Satellite Imaging Corporation, SPOT-7. (2013),
<http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/spot-5/>
- Satellite Imaging Corporation, SPOT-7. (2014), <http://www.spot-7.com/svc/atcor.html>
- Satellite Imaging Corporation, WorldView-2. (2014),
<http://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/worldview-2-dallas-airport.jpg>
- Sertel, E. K. (2007), Geometric correction accuracy of different satellite sensor images: application of figure condition, *International Journal of Remote Sensing*, 28(20), 4685-4692.
- SpaceTech GmbH Immenstaad. (2014), Göktürk-2 Uydusu,
http://www.spacetechnology.com/GK-2_SG.html
- Storey, J. (2014), Landsat-8 Geometric Performance Comparison Between The Oli and The ETM, *Proceedings of the PECORA*, 17, s. 18-20.
- Sunar, F., Özkan, Coşkun., & Osmanoğlu, Batuhan., (2011), Uzaktan Algılama, (Sunar., F.), *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, No:2320, Eskişehir, s. 5-28.
- Temiz, M. S. (2005), Digital Görüntülerin Rektifikasyonu: Sensör Modelleri, Geometrik Görüntü Dönüşümleri ve Yeniden Örnekleme, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.
- Topan, H. (2004), Yörünge Düzelmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi, Master's thesis, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toutin, T. (2003), Error tracking in IKONOS geometric processing using a 3D parametric mode, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(1), 43-52.
- Toutin, T. (2004), Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25(10), 1893-1924.

- Toutin, T. (2004), GCP requirement for high resolution satellite mapping, Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004 Congress.
- USGS. (2014), Landsat Görüntülerinin İndirilmesi, <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2014), Landsat-7 ve Landsat-8 Uydusunun Spektral Bantları Karşılaştırılması, http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php
- Worldview3. (2014), Worldview3, <http://worldview3.digitalglobe.com/>
- Yerli Uydular, RASAT (2014), <http://www.irfanakar.com/turkish/yerliuydular.html>
- Yuksel, G. O. (2007), First LEO Satellite Built in Turkey: RASAT, Recent Advances in Space Technologies, 2007. RAST'07., (s. 78-82).

9. EKLER

EK-1. ERDAS Imagine LPS Programında görüntülerin ortorektifikasyon adımları:

Adım 1: ERDAS IMAGINE 2013 programı masaüstünde bulunan kısa yol

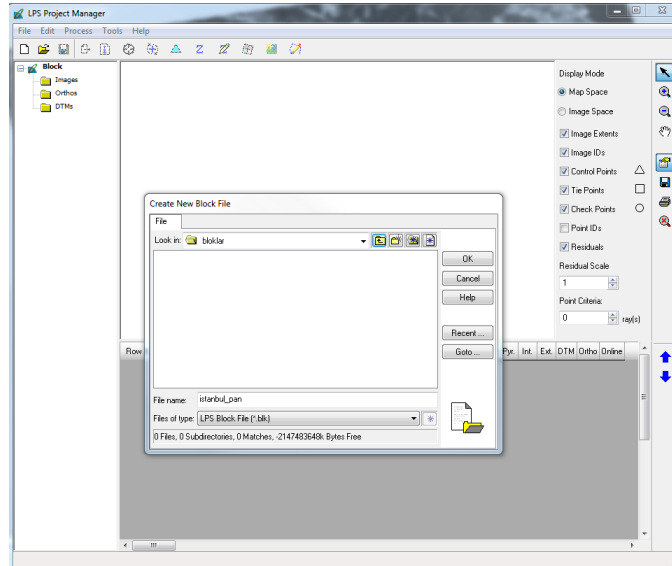
ikonuna  fare ile çift tıklanarak çalıştırılır.

Adım 2: **Toolbox** menüsü içerisinde bulunan LPS (Leica Photogrammetry Suite) modülü çalıştırılır.



Şekil 9.1. LPS (Leica Photogrammetry Suite) modülü

Adım 3: LPS modülünde öncelikle blok hazırlanması gereklidir. Bunun için **File** menüsü altında **New** ifadesi seçilir.

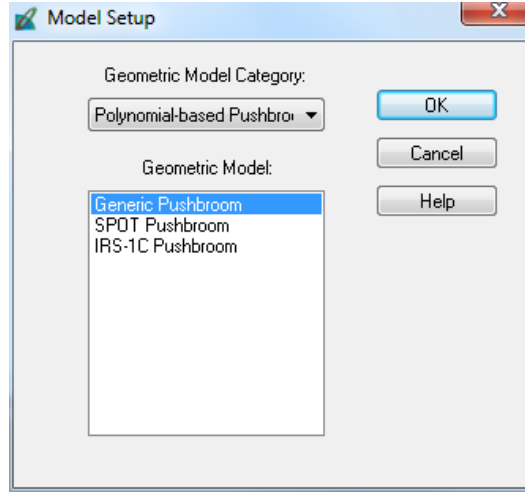


Şekil 9.2. Blok oluşturulma ekranı

Adım4: Orthorektifikasyonu yapılacak uydu görüntülerinin bulunduğu dizinde önceden **L3** (Level 3) dizini altında bloklar isminde yeni bir dizin oluşturulur.

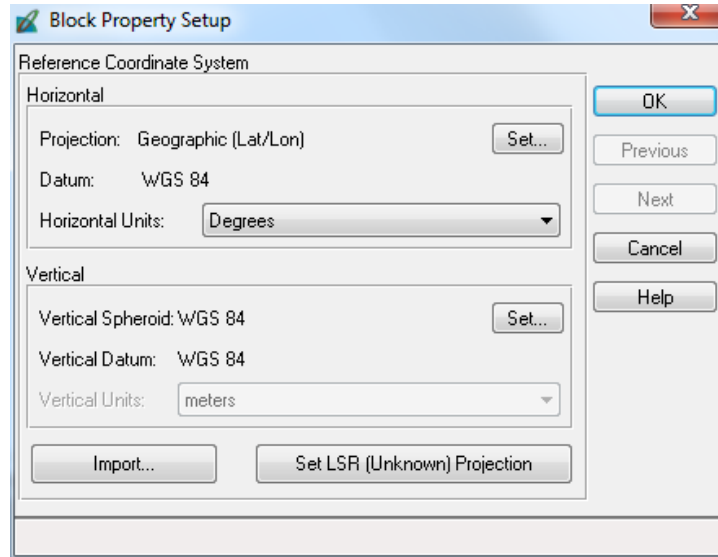
Create New Blok File dialoğu içinde oluşturulan **bloklar** dizini altına **İstanbul_pan.blk** isminde yeni bir blok tanımlanır.

Adım5: Model Setup dialoğunda **Geometric Model Category** için **Polynomial-based Pushbroom** seçilir. **Generic Model** olarak da **Generic Pushbroom** seçilir.



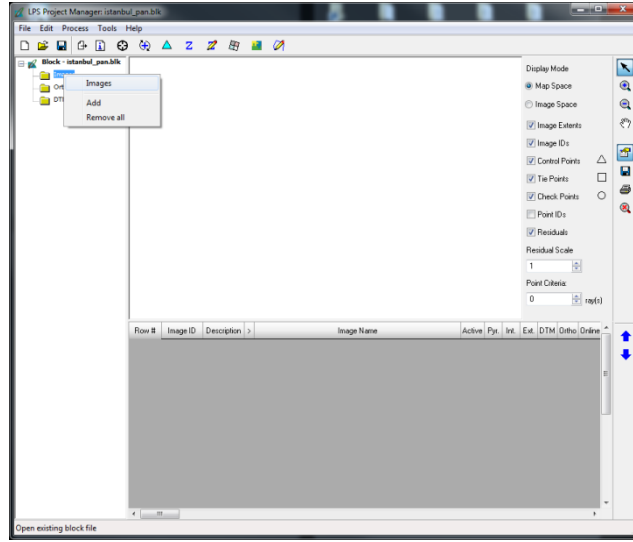
Şekil 9.3. Kamera modeli seçim menüsü

Adım 6: Ekranı açılan **Block Property Setup** menüsünde görüntünün projeksiyon sistemi tanımlanır. Bu uygulamada **Projection: Geographic (Lat/Lon)**, **Datum WGS 84**, **Horizontal Units: Degrees** kullanıcaktır.



Şekil 9.4. Projeksiyon ve koordinat sistemi belirleme menüsü

Adım 7. Blok dosyasının oluşturulmasından sonra orthorektifikasyonu yapılacak görüntü LPS Project Manager modülünde **Images** ifadesi farenin sağ tuşu ile tıklanır ve **Add** ifadesi seçilerek eklenir. Yada LPS modülünde  ikonu seçilerek görüntü ekleme işi tanımlanır.

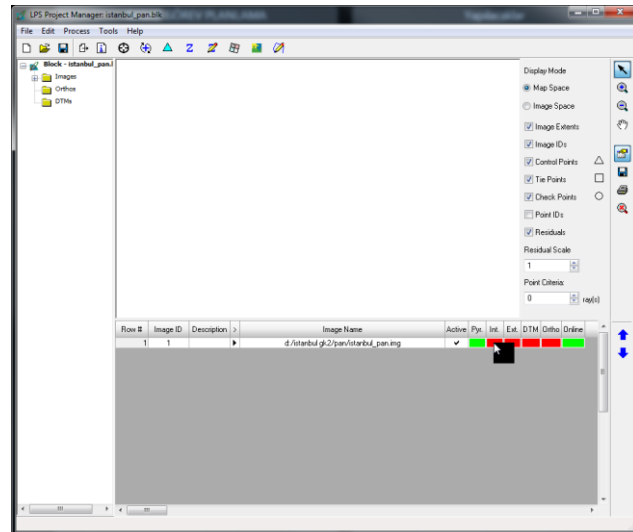


Şekil 9.5. Orthorektifikasyonu yapılacak görüntünün eklenmesi

Adım 8: Kameranın iç yönelim parametrelerini tanımlamak için **LPS Project**

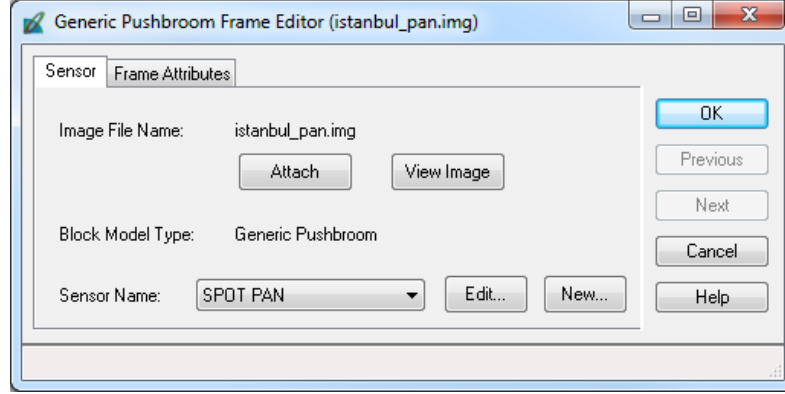
Int.

Manager modülünde  kırmızı alana fare ile tıklanarak **Generic Pushbroom Frame Editor** dialogunun açılması sağlanır.



Şekil 9.6. Kameranın iç parametrelerinin belirlenmesi

Adım 9: Generic Pushbroom Frame Editor dialogunda **Sensör** sekmesi seçilir ve **New** butonuna basılır.

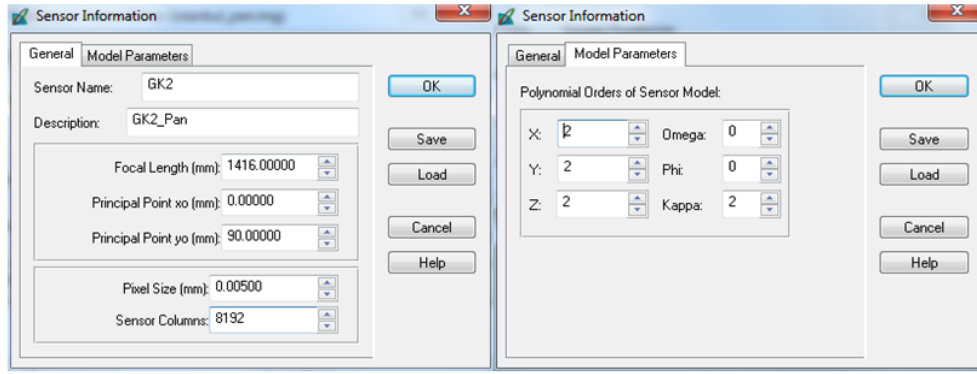


Şekil 9.7. Kamera sensör bilgilerinin belirlenmesi menüsü

Adım 10: Sensör Information dialogunda **General** sekmesinde **Sensör Name** kısmına **GK2**, **Description** kısmına **GK2_PAN** yazılır. Diğer bilgiler ortorektifikasyonu yapılacak sensör tipine göre aşağıdaki tablo kullanılarak doldurulur.

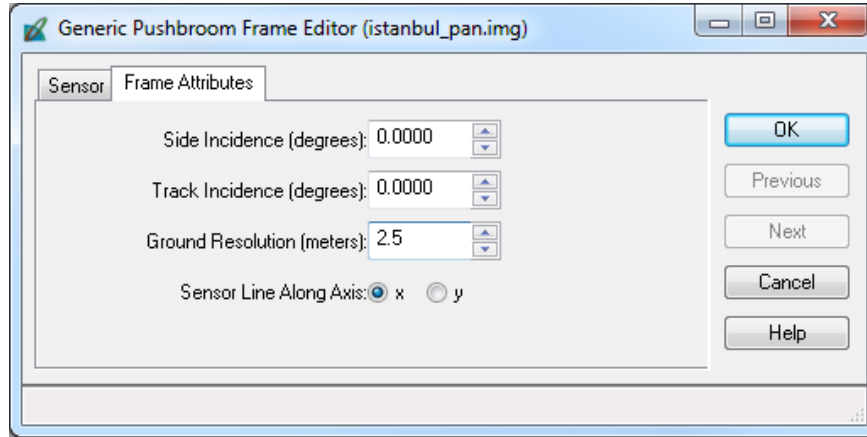
Çizelge 9.1. Göktürk-2 uydusu kamera parametreleri

Kanallar	PAN	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
Focal Length (mm) Efektif Odak Uzaklığı (mm)	1416,24	1414,06	1413,14	1413,21	1422,07
Principal Point xo (mm)	0.00	0.0066	0.0098	0.0028	-0.5998
Principal Point yo (mm)	90.4011	90.4270	90.4283	90.5420	90.3618
Pixel Size (mm) Benek boyutu X & Y (mm)	0,005	0,010	0,010	0,010	0,010
Sensör COLUMNS Algılayıcı sütunları (benek)	8192	4096	4096	4096	4096
Yersel Çözünürlük (m)	2,42	4,95	4,95	4,95	4,95
*(Along) Track incidence angle (Yıldız kamerası)	±30°	±30°	±30°	±30°	±30°



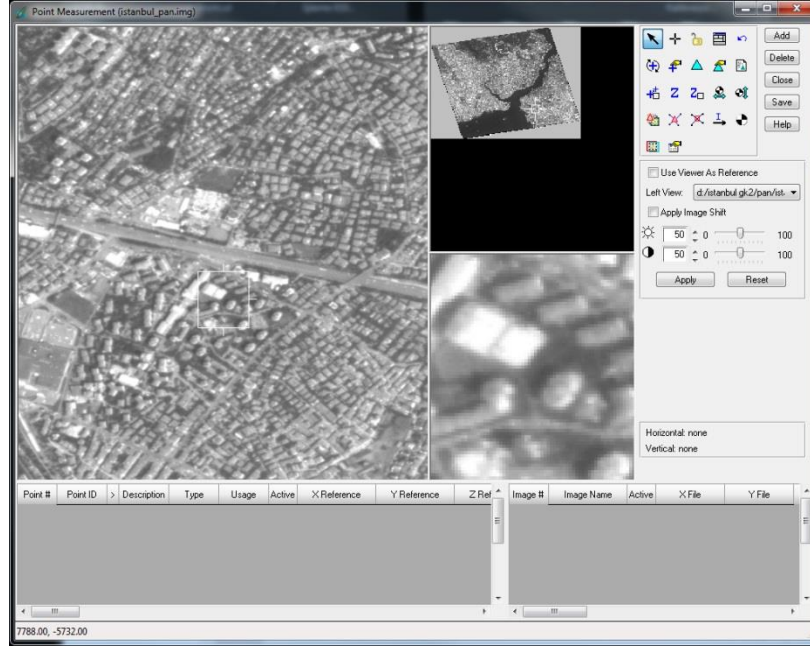
Şekil 9.8. Kamera yönelim bilgilerinin girilmesi

Adım 11: Generic Pushbroom Frame Editor dialogunda Frame Attributes sekmesinde **Ground Resolution (meters)** kısmına 2.5 değeri girilir. RGB bantlarda yapılacak ortorektifikasyon işleminde bu değer 5 metre olarak girilir. Bu değerler uydunun sensörlerinin yersel çözünürlüğüdür.



Şekil 9.9. Yer çözünürlüğü bilgilerinin girilmesi (PAN)

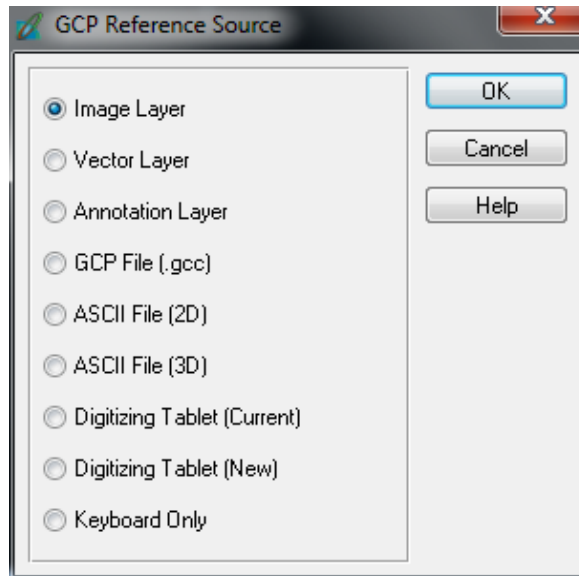
Adım12:LPS modülünde  **Start point measurement tool** ikonuna basılarak **Point Measurement** arayüzünün açılması sağlanır.



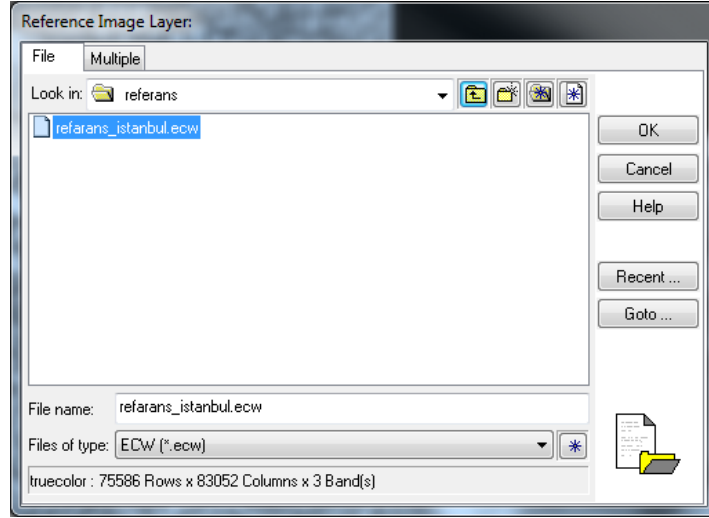
Şekil 9.10. LPS GCP seçim arayüzü

Adım 13: Point Measurement arayüzünde  **Set automatic (x,y) drive** ve  **Set automatic Z value Updating** ikonları işaretlenir.

Adım14: Point Measurement arayüzünde  **Reset horizontal reference source** ikonuna basılır. Açılan **GCP Reference Source** dialogunda **Image Layer** ifadesi seçilir. Böylece ortorektifikasyonda kullanılacak GCP (Ground Control Point-Yer kontrol noktası) referans görüntü seçilir.

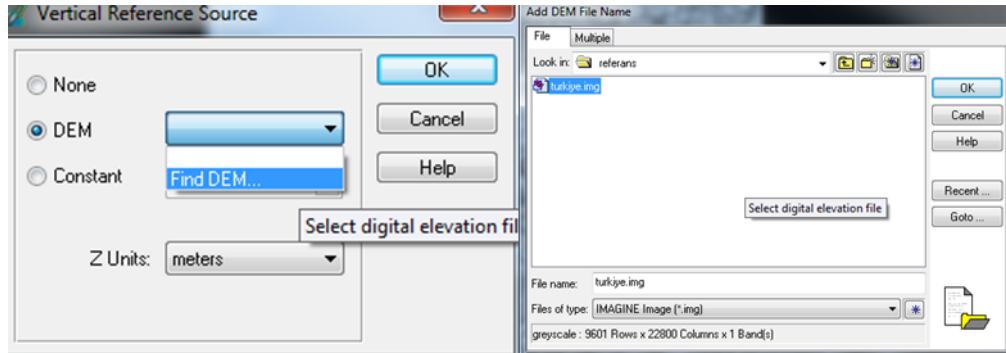


Şekil 9.11. Referans görüntünün belirlenmesi

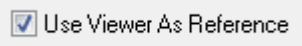


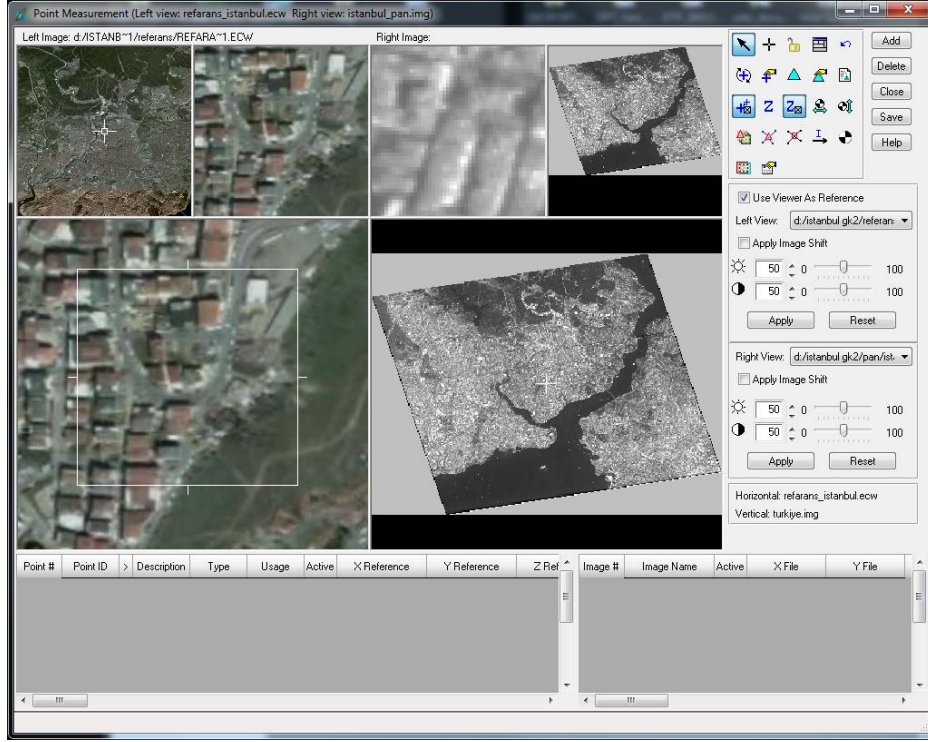
Şekil 9.12. Referans görüntünün seçilme ekranı

Adım 15: Point Measurement arayüzünde  **Reset vertical reference** soruce ikonuna basılır. Açılan **Vertical Reference Soruce** dialogunda DEM ifadesi seçilir. Ortorektifikasyonda kullanılacak yükseklik bilgilerini içeren referans görüntü seçilir.



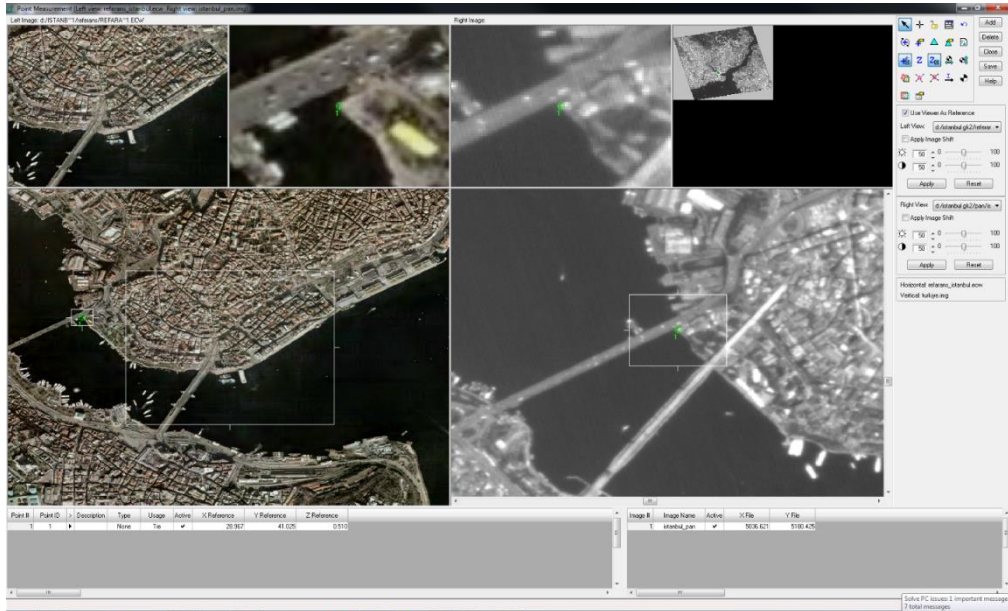
Şekil 9.13. SYM (DEM) görüntüsünün belirlenmesi

Adım 16: Point Measurement arayüzünde  **Use Viewer As Reference** ifadesi işaretlenir ve ekranın sol tarafında referans görüntü, sağ tarafında da ortorektifikasyonu yapılacak uydu görüntüsü görüntülenir.



Şekil 9. 14 LPS arayüzünde GCP girilmesi-1

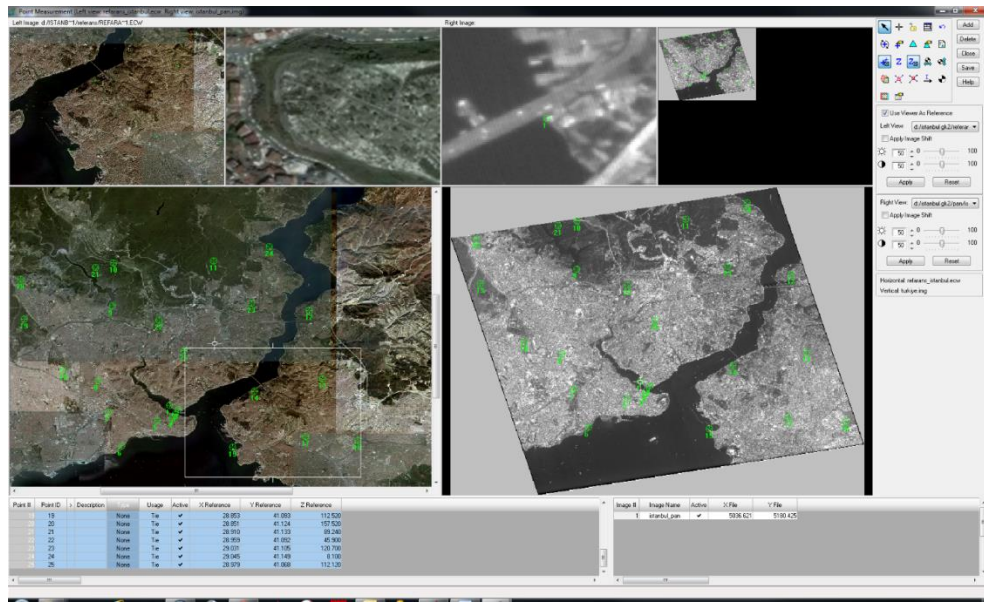
Adım17: Point Measurement arayüzünde  **Create Point** ile önce uydu görüntüsünde, daha sonra aynı yer için referans görüntüde GCP işaretlenir.



Şekil 9.15. LPS ara yüzünde GCP girilmesi-2

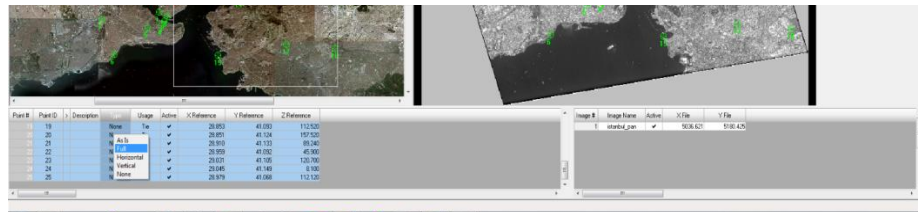
Adım18: Point Measurement arayüzünde  **Create Point** ile görüntüden İkinci GCP için **LPS Project Manager** arayüzünde  **Add** butonuna

tıklanır, sonra **+** **Create Point** ile uydu görüntüsünden sonra tekrar **+** **Create Point** ile GCP referans görüntüden GCP işaretlenir. Her bulunan GCP sonrasında **Point Measurement** arayüzünde **Save** butonuna basılarak yapılan çalışmalar kayıt edilir. İkinci GCP'den sonra LPS yazılımı referans görüntüde otomatik yaklaşık yerini bulmaya başlar. Bu fonksiyon sayesinde GCP bulma işlemi kolaylaşır ve hızlanır. GCP'ler mümkün olduğu kadar görüntü yüzeyine yaklaşık eşit mesafelerde bulunarak yaygınlaştırılmalıdır.

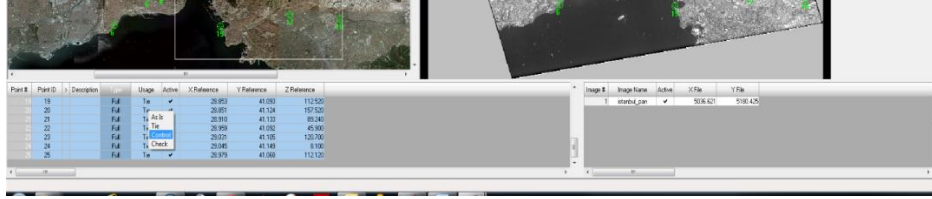


Şekil 9.16. LPS arayüzünde GCP girilmesi-3

Adım19: Uygulamamızda görüntü üzerinde 25 adet GCP bulunmuştur. GCP bulma işleminden sonra **LPS Point Measurement** arayüzünde GPC'lerin sayısını ve koordinatlarını gösteren alanın tamamı seçilir ve **Type** alanı üzerinde farenin sağ tuşu ile **Full** ifadesi seçilir. Takiben **Usage** alanı üzerinde farenin sağ tuşu ile **Control** ifadesi seçilir.

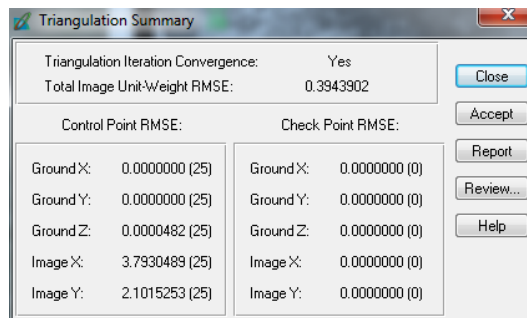


Şekil 9.17. GCP'lerin özelliklerinin tanımlanması-1

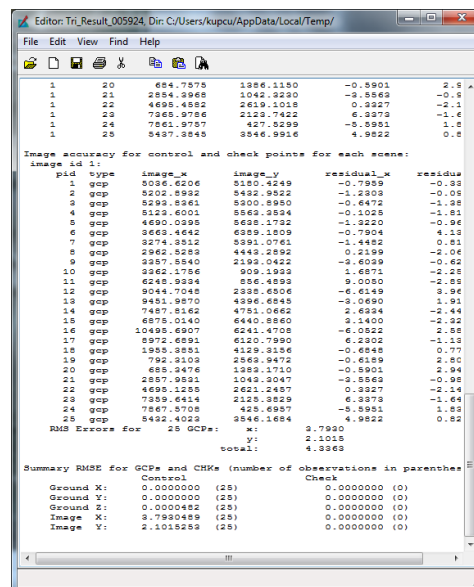


Şekil 9.18. GCP’lerin özelliklerinin tanımlanması-2

Adım 20: Point Measurement arayüzünde  **Perform triangulation** ifadesi fare ile seçilir ve yapılan işlemlerin RMSE hatasına bakılır. **Total Image Unit-Weigth RMSE**'nin 1'den küçük olması gerekmektedir. Sonuç 1'den küçük ise **Triungulation Summary** dialogunda **Accept** butonuna basılır. Sonuç 1'den büyük ise **Report** butonuna basılarak hatalı olabilecek GCP'ler rapor üzerinde tespit edilir ve hatalar düzeltilir. Hatalı GCP yoksa görüntü üzerinde yeterli sayıda ve sıklıkta GCP alınamamış olduğundan yeni GCP'ler bulunup, işaretlenir.

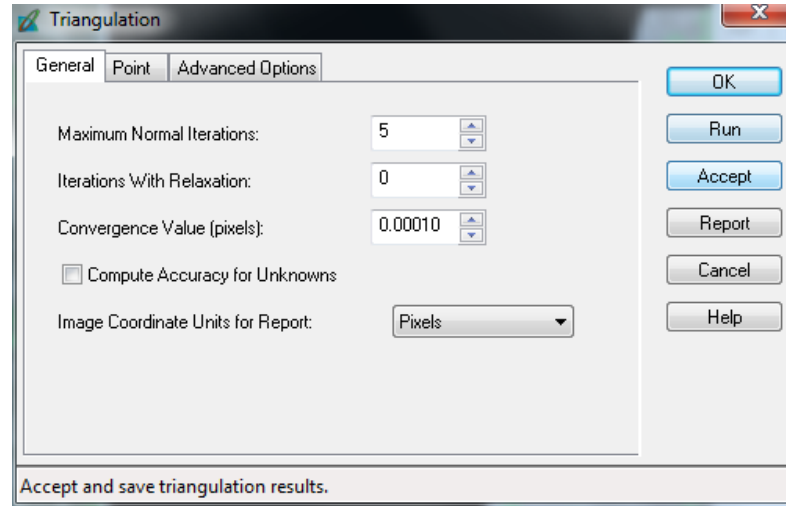


Şekil 9.19. RMS hatasının raporlanması

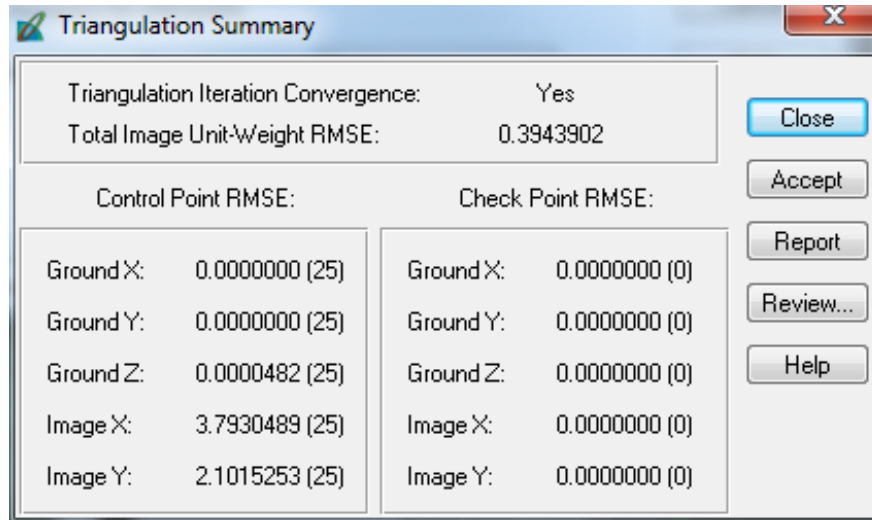


Şekil 9.20. RMSE değerleri

Adım21: Point Measurement arayüzünde  **Triangulation properties** ifadesi fare ile seçilir ve **Triangulation** dialogu açılır. Dialog üzerindeki varsayılan değerler aynen kabul edilir ve **Run** butonuna basılır. Takiben **Triangulation Summary** dialogu açılır ve **Accept** butonuna basılarak dialoglar kapatılır.

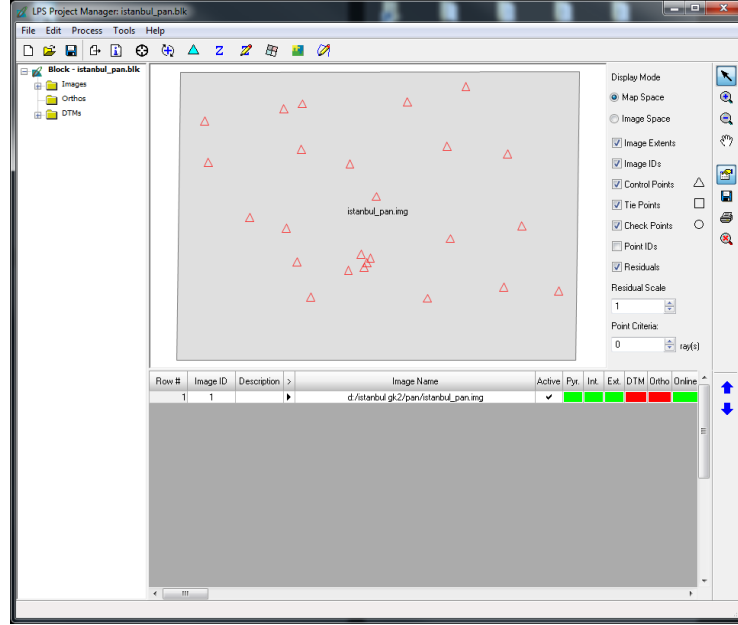


Şekil 9.21. Orthorektifikasyonun çalıştırılması



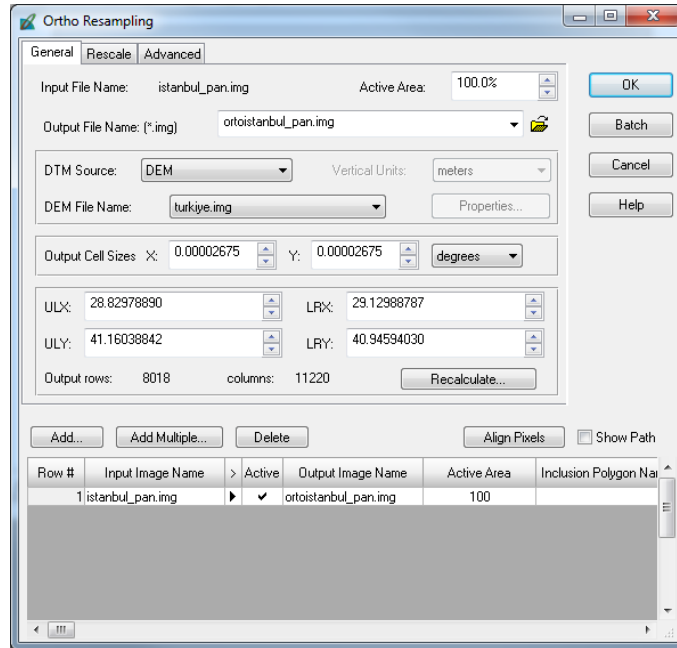
Şekil 9.22. RMSE hataların görüntülenmesi

Adım22: Point Measurement arayüzünde **Save** ve **Close** butonlarına basılarak arayüz kapatılır. **LPS Project Manager** modülünde **Ext.** Alanını yeşil olduğu gözlenir. Kırmızı olan **Ortho** alanının üzerine basılır ve **Ortho Resampling** dialogunun açılması sağlanır.



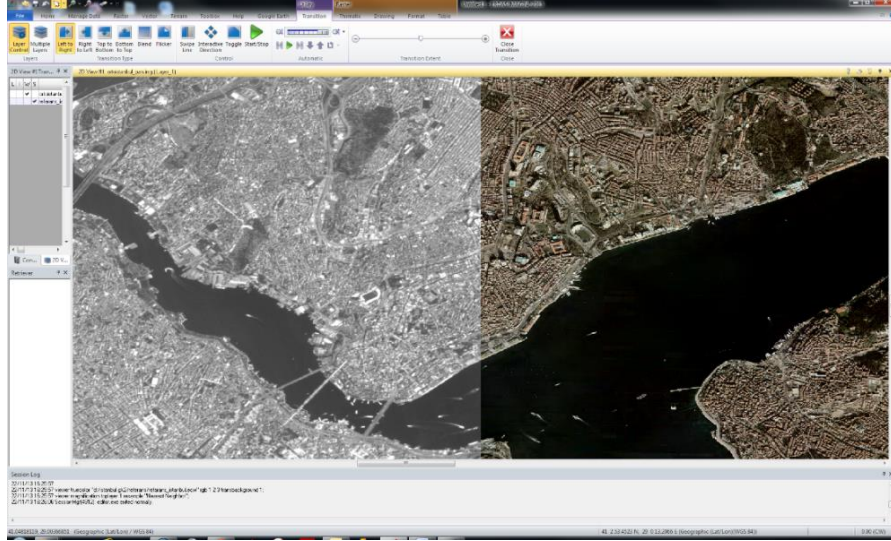
Şekil 9.23. ERDAS LPS proje yönetim ara yüzü

Adım23: Ortho Resampling dialogunda **General** sekmesinde **Output File Name** alanına orthorektifikasyon olacak yeni görüntü ismi tanımlanır. **DTM Source** alanında **DEM** ifadesi seçilir ve tanımlı DEM verisinin **DEM File Name** sekmesinde geldiği gözlemlenir. **Advanced** sekmesinde görüntüye uygulanacak resampling metodu seçilir. **OK** butonuna basılarak orthorektifikasyon işlemi başlatılır.



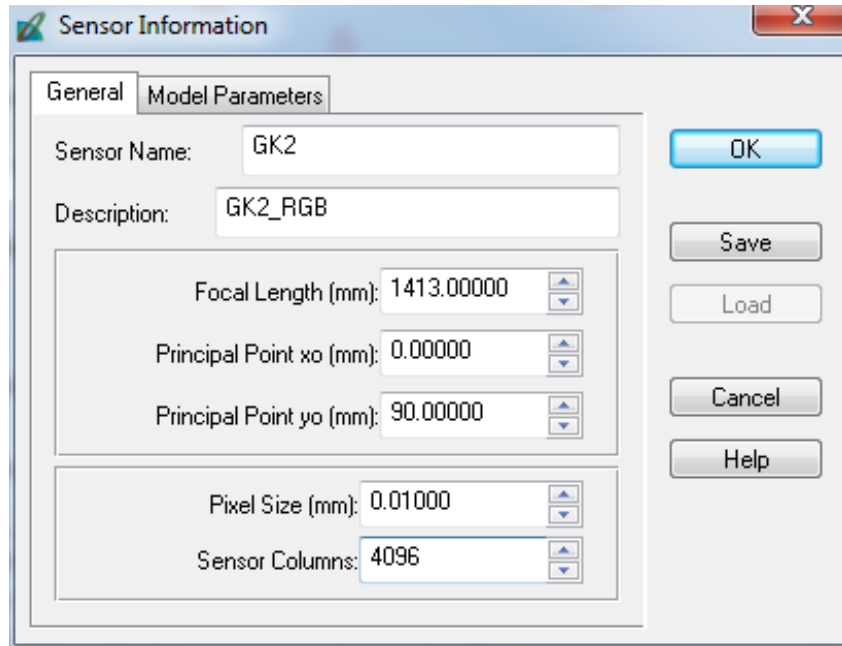
Şekil 9.24. Orthorektifikasyon çıktı görüntüsünün tanımlanması

Adım24: Görüntünün referans görüntüye göre ne oranda doğru ortorektifiye edildiğini görmek için **ERDAS IMAGINE 2011** programı her iki görüntü açılır. **Swipe** fonksiyonu ile görüntülerin karşılaştırması yapılır.

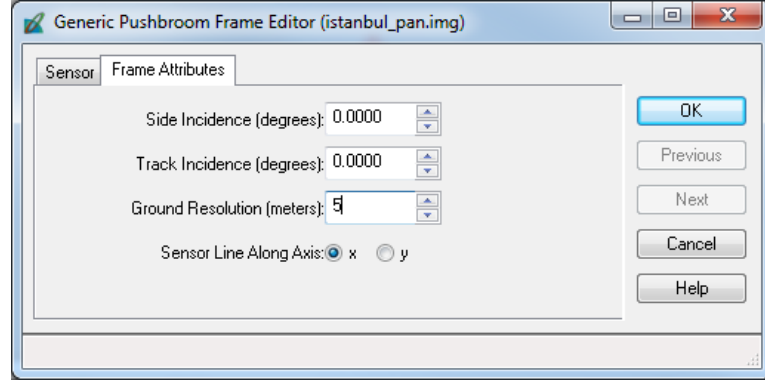


Şekil 9.25. Referans görüntü ile orthorektifikasyon olmuş görüntünün karşılaştırılması

RGB görüntünün de aynı yöntemle ortorektifikasyonu yapılır. Değişmesi gereken blok oluşturma aşamasında parametreler aşağıdaki dialoglarda verilmiştir.



Şekil 9.26. RGB görüntünün ortorektifikasyonu için kullanılması gereken parametreler

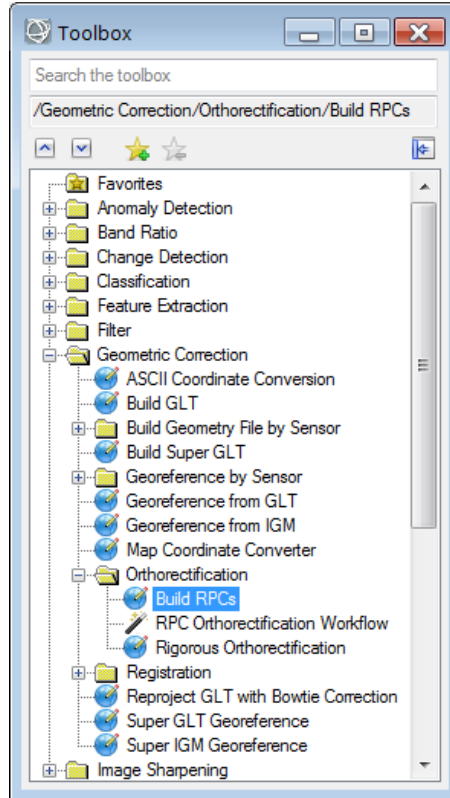


Şekil 9.27. Yer çözünürlüğü bilgilerinin girilmesi (RGB)

EK-2. ENVI Programında görüntülerin ortorektifikasyon adımları:

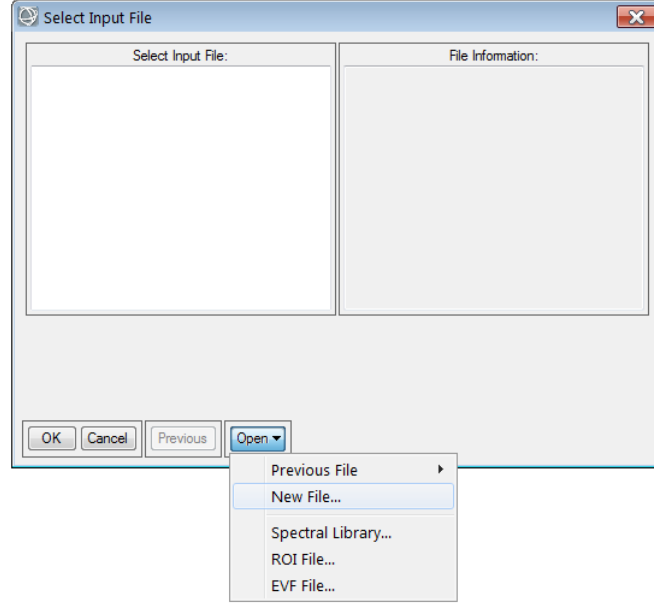
Adım 1: ENVI programı masaüstünde bulunan kısa yol ikonuna  fare ile çift tıklanarak çalıştırılır.

Adım 2: Toolbox menüsü içerisinde bulunan **Geometric Correction** fonksiyonu altında **Orthorectification** altında **Build RPCs** fare ile çift tıklanarak çalıştırılır.



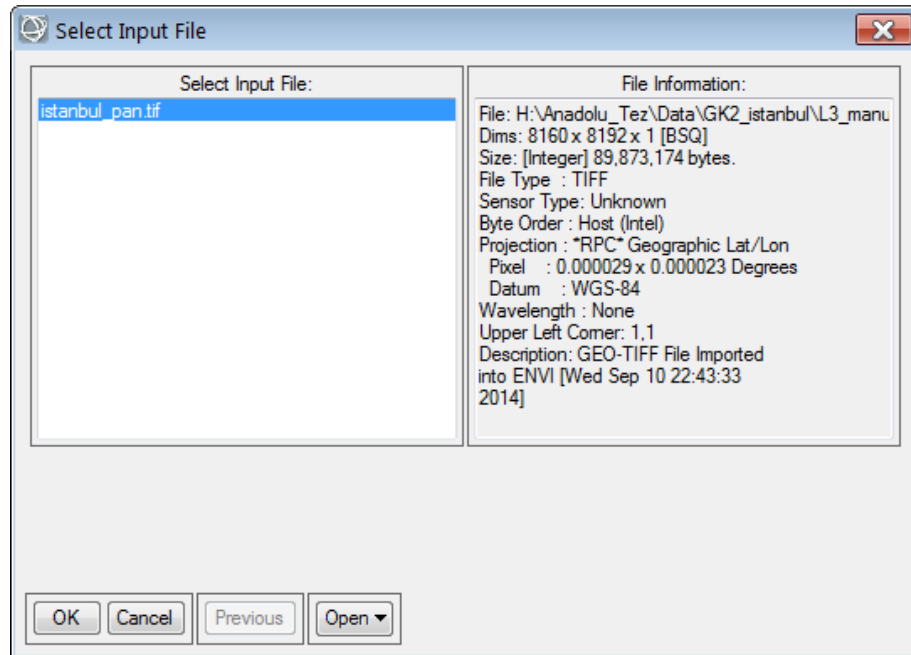
Şekil 9.28. ENVI Toolbox

Adım 3: Öncelikle ortorektifikasyon yapılacak görüntünün headerına uydunun kamera sensör modelinin tanımlanması gereklidir. Bunun için **File** menüsü altında **New** ifadesi seçilir.



Şekil 9.29. RPC oluşturulması

Adım 4: Orthorektifikasyonu yapılacak uydu görüntüsü bulunduğu dizinde seçilir ve OK butonuna basılır.



Şekil 9.30. Ortorektifikasyon yapılacak görüntünün seçilmesi

Adım 5: Builds RPCs dialogunda **Camera Model** altında **Type** için **Pushbroom** **Sensör** seçilir. Diğer kamera sensör bilgileri aşağıdaki şekilde olduğu gibi doldurulur. RASAT ve Göktürk-2 uydularının kamera sensör bilgilerinin tanımlanması için gerekli bilgiler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Şekil 9.31. Göktürk-2 görüntüsü için kamera sensör modelinin tanımlanması

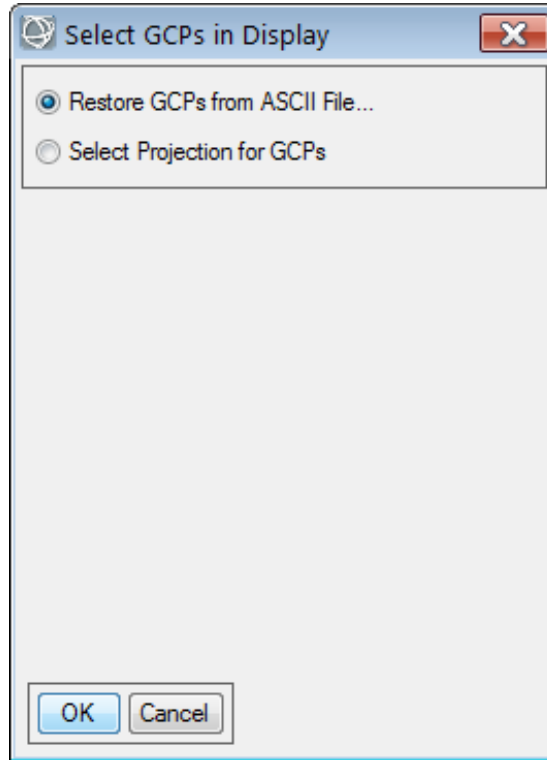
Çizelge 9.2. RASAT uydusunun kamera parametreleri

Kanallar	PAN	Kırmızı	Yeşil	Mavi
Efektif Odak Uzaklığı (mm)	470.76	472.33	469.80	469.97
Benek boyutu X & Y (mm)	0.005	0.010	0.010	0.010
Algılayıcı sütunları (benek)	4096	2048	2048	2048
Yersel Çözünürlük (m)	7.434	14.826	14.903	14.896

Çizelge 9.3. Göktürk 2 uydunun kamera parametreleri

Kanallar	PAN	Kırmızı	Yeşil	Mavi	NIR
Efektif Odak Uzaklığı (mm)	1416.24	1414.06	1413.14	1413.21	1422.07
Principal Point xo (mm)	0.00	0.0066	0.0098	0.0028	-0.5998
Principal Point yo (mm)	90.4011	90.4270	90.4283	90.5420	90.3618
Benek boyutu X & Y (mm)	0.005	0.010	0.010	0.010	0.010
Algılayıcı sütunları (benek)	8192	4096	4096	4096	4096
Yersel Çözünürlük (m)	2.42	4.95	4.95	4.95	4.95

Adım 6: Builds RPCs dialogunda Build Exterior Orientation ifadesi altında Select GCPs in Display butonuna tıklanır. Açılan dialogda Restore GCPs from ASCII File ifadesi işaretlenir ve OK butonuna basılır



Şekil 9.32. ASCII dosyasından GCP'lerin import edilmesi

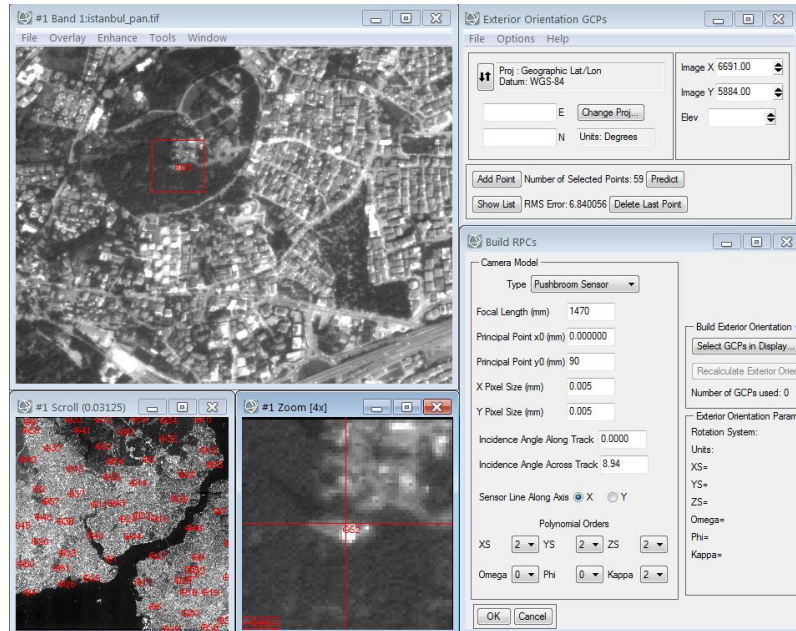
Adım 7: Daha önceden .pts formatında hazırlanan GCP dosyası disk alanından seçilir. PTS dosya formatı aşağıdaki gibi olmalıdır.

```
; ENVI Exterior Orientation Points File
; projection info = {Geographic Lat/Lon, WGS-84, units=Degrees}
; Map (x,y, elev), Image (x,y)
;
28.97473526 41.02169037 5.450000 3553.103760 5437.702148
28.87496758 41.06819153 117.500000 769.358704 2741.078613
28.98756599 41.11151505 11.300000 4989.375000 1609.875000
28.89492226 40.98040009 2.070000 441.625000 6694.875000
29.11554146 40.98875046 81.490000 7863.375000 7797.625000
29.03632736 40.98916626 5.000000 5224.585449 7260.636230
29.06948662 41.03755569 180.400000 6866.135742 5375.019043
28.84650993 41.12250900 169.000000 436.375000 179.125000
29.03300095 41.15364838 4.400000 6976.834473 69.643188
28.94329834 41.06470490 2.420000 2998.375000 3354.875000
28.92335510 41.13638306 101.700000 3140.129639 96.170074
28.90660095 41.09062195 59.480000 2077.958008 1979.745850
28.97985268 41.08983231 41.140000 4487.625000 2505.625000
29.04786682 41.12833023 108.380000 7178.875000 1273.625000
29.01397705 41.06306458 125.320000 5310.625000 3898.375000
29.01424408 41.00716782 26.950000 4694.125000 6333.125000
29.06597137 41.00655365 84.220000 6402.625000 6701.125000
29.09032440 41.00975037 75.600000 7251.795898 6719.217773
28.88888931 41.02436829 82.730000 734.125000 4744.875000
28.93161583 41.11463928 87.200000 3169.207031 1098.069946
29.03131676 41.10490799 120.700000 6361.615234 2186.692383
28.92251015 41.01909256 57.600000 1791.339722 5201.574219
28.97886658 41.05759048 93.140000 4087.375000 3902.875000
28.95551109 41.00184250 1.340000 2693.375000 6171.875000
28.92959595 40.99304199 4.200000 1734.593750 6379.671875
29.02180481 41.03198624 -1.640000 5225.875000 5302.125000
29.05642319 41.01529694 122.920000 6184.125000 6254.875000
29.05739594 40.97249603 22.600000 5734.662598 8125.142578
```

text file length : 4606 lines : 63 Ln : 1 Col : 40 Sel : 0 | 0 Dos/Windows UTF-8

Şekil 9.33. GCP'lerin .pts formatı

Adım 8: Exterior Orientation GCPs dialogunda Show List butonuna basılarak toplan 59 adet GCP'nin listelenmesi sağlanır. Bu 59 yer kontrol noktası (YKN-GCP)'nin 9 adeti bağımsız denetim noktası (BDN-ICP) ayrılması gereklidir. Bunun için Ground Control Points List dialogunda 51-59 arası seçilerek On/Off butonuna basılarak off yapılır.

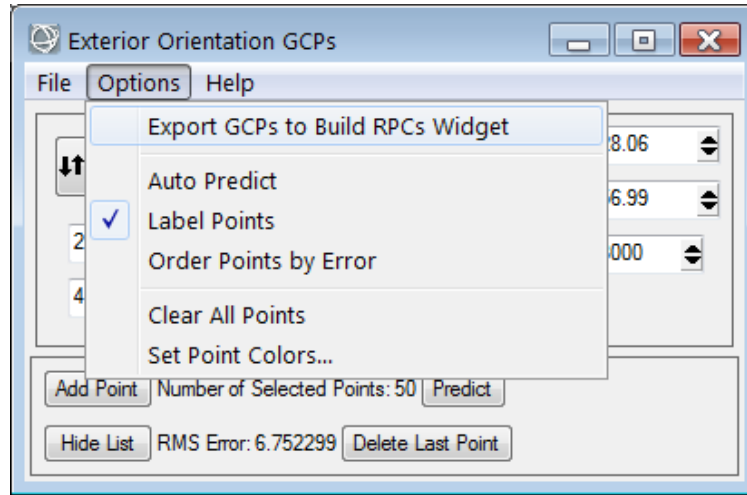


Şekil 9.34. Import edilen GCP'lerin gösterimi

	Map X	Map Y	Elev	Image X	Image Y	Predict X
#36+	28.95	41.09	60.78	3468.59	2291.84	3468.4093
#37+	28.91	41.07	57.07	2087.22	2940.16	2080.3627
#38+	28.91	41.04	105.11	1689.73	4000.10	1689.9804
#39+	29.03	41.08	113.48	6062.17	3121.25	6068.4805
#40+	28.95	41.04	-7.30	2844.13	4533.13	2839.9979
#41+	28.90	41.12	82.00	2339.38	512.13	2333.4827
#42+	28.85	41.09	109.88	251.76	1616.36	251.6901
#43+	28.96	41.07	9.60	3666.08	3281.44	3663.9057
#44+	28.99	41.04	74.70	4270.07	4565.44	4276.2428
#45+	28.86	41.03	100.83	21.18	4133.36	26.4433
#46+	28.88	41.05	77.36	844.02	3809.93	838.5020
#47+	28.95	41.13	99.91	4054.80	551.72	4059.6401
#48+	29.05	41.06	11.30	6611.07	4249.16	6608.8344
#49+	29.11	41.03	137.58	8060.15	6144.81	8047.7131
#50+	28.88	41.00	48.64	172.69	5618.86	172.6759
#51-	28.92	41.01	20.60	1537.04	5769.96	0.0000
#52-	29.07	41.03	249.60	6691.01	5885.99	0.0000
#53-	28.99	41.06	120.30	4628.06	3756.99	0.0000
#54-	28.95	41.10	60.75	3606.03	1665.05	0.0000
#55-	29.06	41.12	53.10	7396.01	1817.01	0.0000
#56-	28.85	41.12	182.88	356.98	494.01	0.0000
#57-	28.89	41.06	103.28	1135.98	3204.02	0.0000
#58-	29.10	40.98	76.10	7204.01	8042.94	0.0000
#59-	28.96	41.14	91.05	4538.01	63.06	0.0000

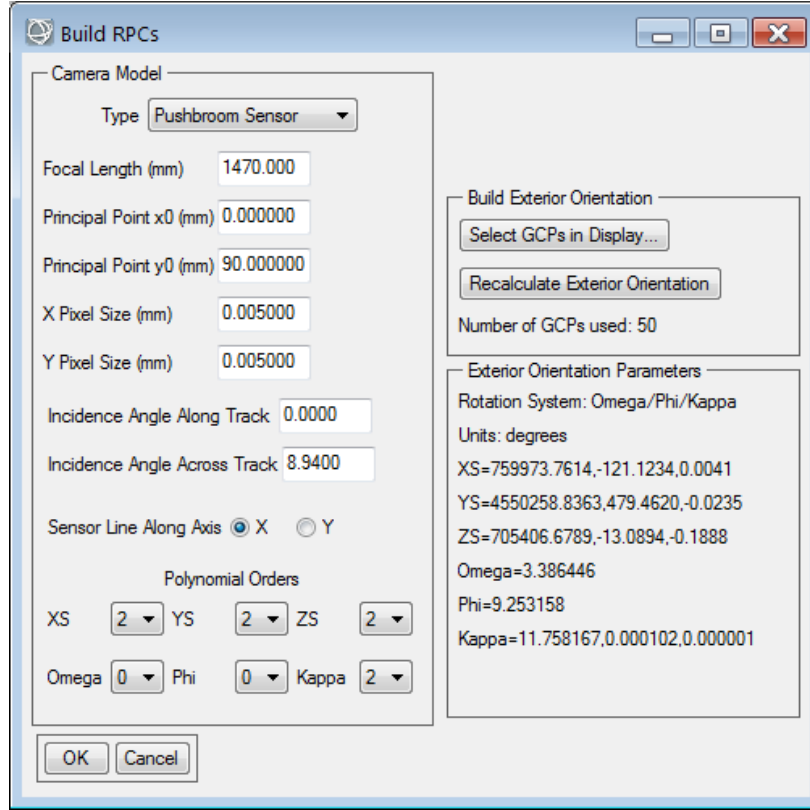
Şekil 9.35. BDN'lerin GCP'lerden ayrılması işlemi

Adım 9: Exterior Orientation GCPs dialogunda Export GCPs to Build RPCs Widget ifadesi seçilir. Böylece görüntünün iç ve dış yönelim bilgileri ile RPC dosyası headera yazılmış olur.



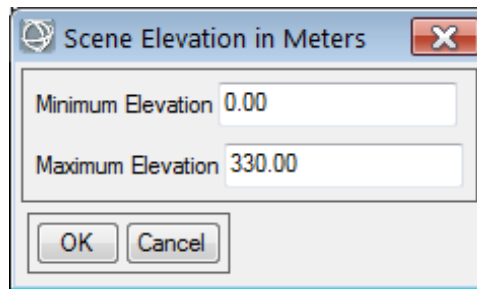
Şekil 9.36. GCP'lerden RPC oluşturulması

Adım 10: Build RPCs dialogunda OK butonuna basılarak işlem tamamlanır.



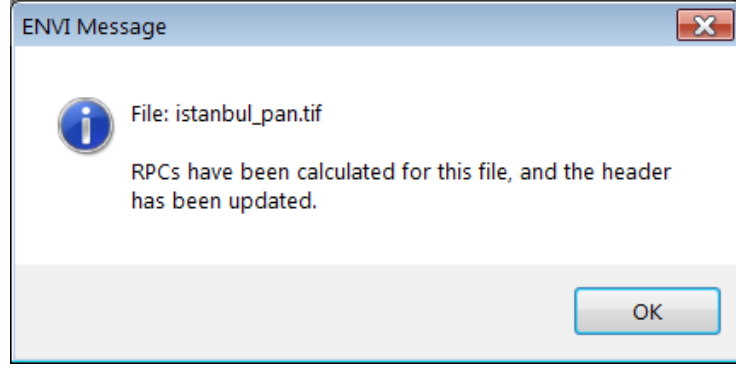
Şekil 9.37. Kamera modelinin ve dış yönelim bilgilerinin girilmesinin tamamlanması

Adım 11: Scene Elevation in Meters dialogunda minimum ve maksimum yükseklik değerleri varsayılan değerler kabul edilerek OK butonuna basılır.



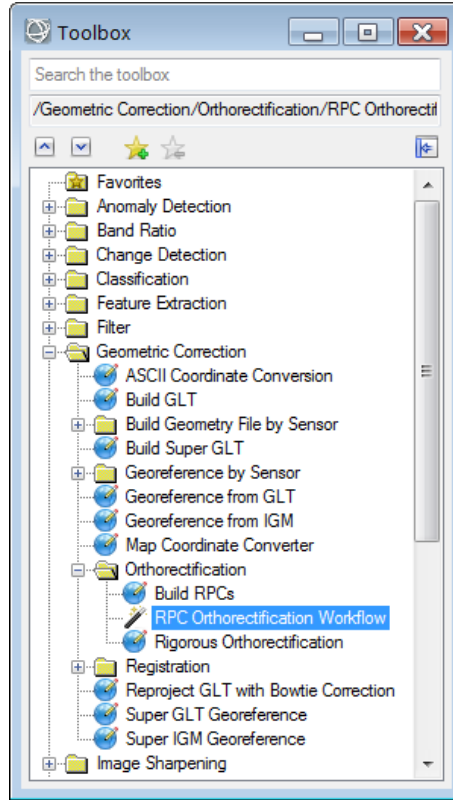
Şekil 9.38. Görüntünün minimum ve maksimum yükseklik değerleri

Adım 12: ENVI Message dialogunda İstanbul_pan Göktürk-2 görüntüsünün RPC dosyası hesaplanarak header bilgisi oluşturulmuş olur. OK butonuna basılarak işlem tamamlanır.



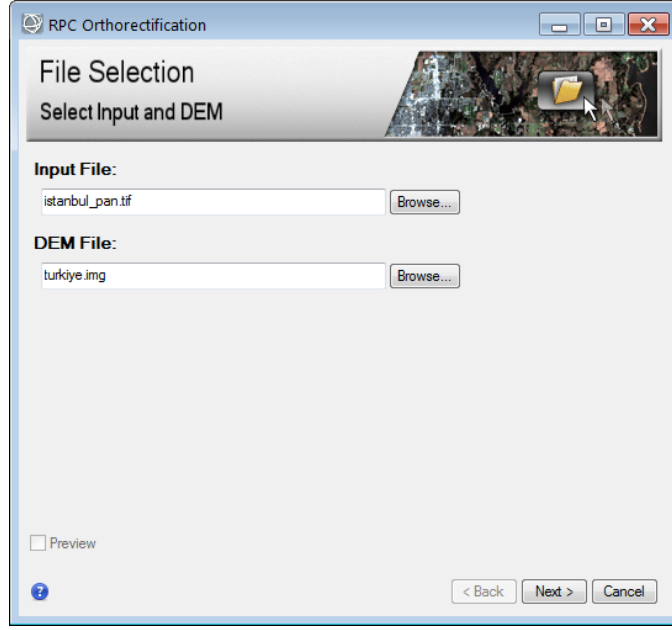
Şekil 9.39. RPC tanımlama işleminin sonu

Adım 13: Toolbox menüsü içerisinde bulunan Geometric Correction fonksiyonu altında Orthorectification altında RPC Orthorectification Workflow fare ile çift tıklanarak çalıştırılır.



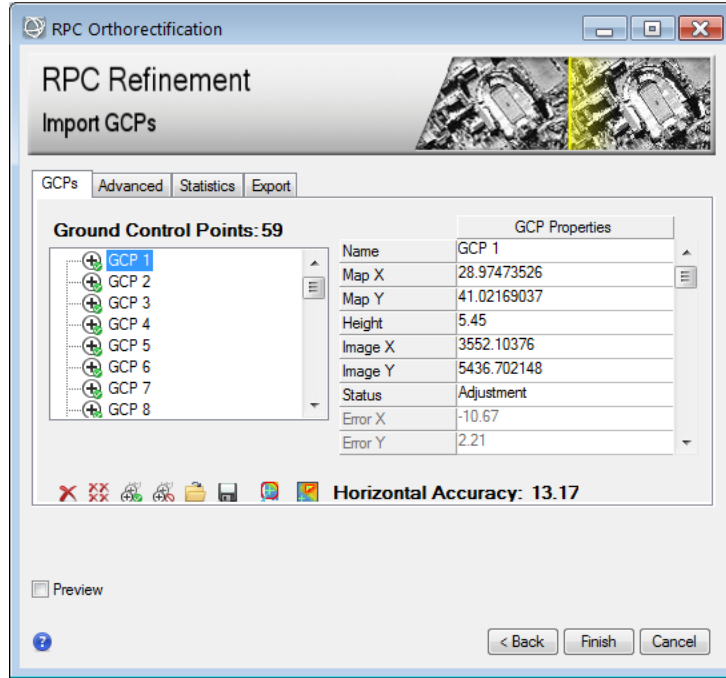
Şekil 9.40. RPC Orthorectification Workflow fonksiyonun çalıştırılması

Adım 14: RPC Orthorectification dialogunda Input File olarak RPC bilgisi düzenlenmiş İstanbul_pan.tif görüntüsü seçilir. DEM File olarak da ortorektifikasyon işlemi için elimizde bulunan yükseklik görüntüsü ve Next butonuna basılır.



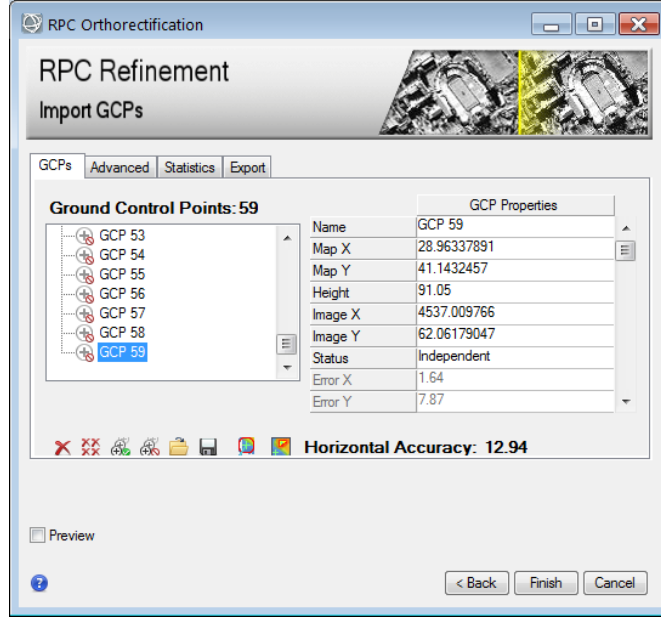
Şekil 9.41. Ortorektifikasyon yapılacak görüntünün ve yükseklik verisinin seçilmesi

Adım 15: RPC Refinement Import GCPs dialogunda GCPs sekmesinde iken  Load GCP seçilir ve pts formasındaki GCP dosyası eklenir.



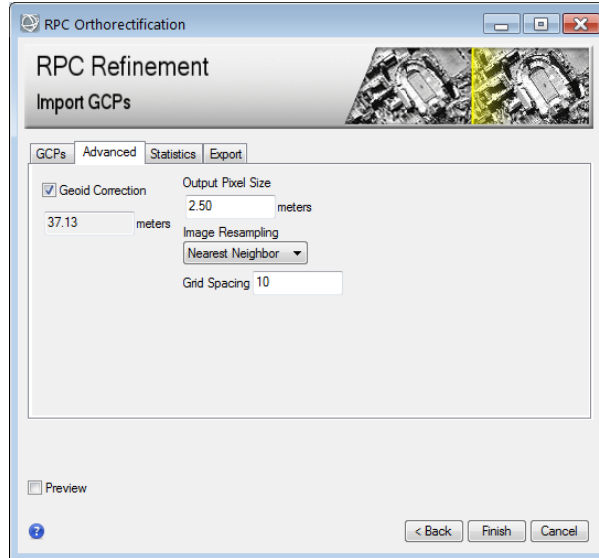
Şekil 9.42. GCP'lerin yüklenmesi

Adım 16: 51-59 arası olan GCP'ler ICP olacağı için GCP 51 'in üzerinde farenin sağ tuşu ile Change GCP Status ifadesi ile GCP'ler pasif yapılar ICP durumuna getirilir. Bu işlem 51-59 arası tün GCP'lere uygulanır. İstenildiği durumlarda hata oranı yüksek olan GCP'ler  Delete GCP ile silinebilir.



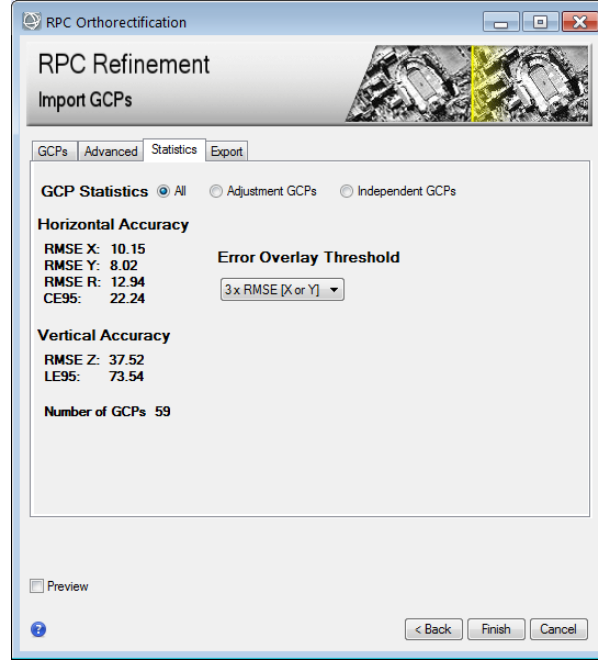
Şekil 9.43. GCP'lerin durumlarının düzenlenmesi

Adım 16: RPC Refinement Import GCPs dialogunda Advanced sekmesi seçilir. Output Pixel Size olarak Göktürk-2 uydusunun pankromatik bandının yersel çözünürlüğü olan 2.5 metre değeri girilir. Image Resampling metodu Nearest Neighbor olarak değiştirilir. Geoid Correction ve Grid Spacing değerleri varsayılan değerler olarak kalır.



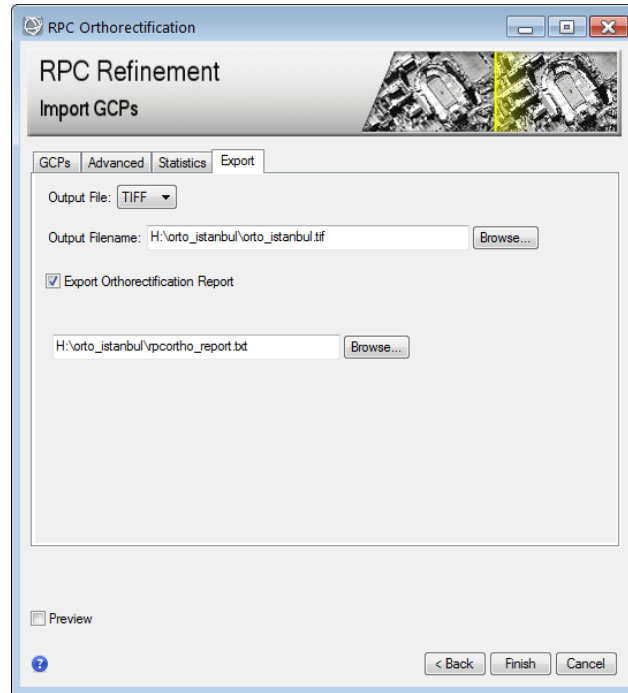
Şekil 9.44. Piksel boyutunun ve yeniden örnekleme metodunun düzenlenmesi

Adım 17: RPC Refinement Import GCPs dialogunda Statistics sekmesinde GCP'lere ait hata oranları gözlenir.



Şekil 9.45. GCP’lerin hata oranlarının gözlemlenmesi

Adım 18: : RPC Refinement Import GCPs dialogunda Export sekmesinde Output file ifadesini. tiff olarak değiştirip ortorektifikasyonu yapılacak görüntünün yazılacağı disk alanını ve ismi belirlenir. Export Orthorectification Report ifadesi işaretlenerek rapor dosyasının yazılacağı disk alanı ve ismi belirlenir. Finish butonuna basılarak ortorektifikasyon işlemi tamamlanır.



Şekil 9.46. Ortorektifikasyon işleminin tamamlanması