



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN
ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK
MODELİNİN DOĞRULUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI

Mustafa AKDENİZ

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa AKDENİZ tarafından hazırlanan “GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 03/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Hakan KARABÖRK

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Lütfiye KARASAKA

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Osman ORHAN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa AKDENİZ

Tarih:03/10/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ÜRETİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI Mustafa AKDENİZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Lutfiye KARASAKA

2022, 65 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr. Hakan KARABÖRK
Dr.Öğr.Üyesi Lutfiye KARASAKA
Dr.Öğr.Üyesi Osman ORHAN**

Teknolojinin hızla geliştiği zamanları yaşadığımız bu süreçte, veriye ulaşma ve verinin doğru bir şekilde işlenmesi gibi amaçlar doğrultusunda farklı iş akışları meydana gelmiştir. Son yıllarda ülkemizin uzay alanında yaptığı atılımlar sayesinde Göktürk-1 uydusu üzerinden yeryüzü üzerinde kısıtlama olmadan yüksek çözünürlüklü görüntülere ulaşabilmekteyiz. Geçtiğimiz zamanlar içerisinde uzaktan algılama alanında yaşanan tecrübelerin aktarımı sayesinde elde edilen veriler katma değeri yüksek ürünlere dönüşmektedir.

Sayısal yükseklik modeli (SYM) bir arazi yüzeyini matematiksel kurallar yardımıyla üç boyutlu olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik bilgilerini kullanarak gösterilen sayısal bir modeldir. Ekonomi, insan gücüne duyulan ihtiyacın az olması, üretim hızı ve veriye ulaşımındaki kolaylıkların olması gibi avantajlar sayesinde SYM üretiminde uydu görüntüleri çok sık tercih edilmektedir. Uydu görüntülerinin yardımcı parametrelerinden olan RPC (Rational Polynomial Coefficients) model üzerinde yapılan iyileştirmeler sayesinde geçmiş zamanlara göre günümüzde yüksek konumsal doğruluğa sahip veriler elde edilebilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında Göktürk-1 uydu görüntülerinden üretilen SYM verilerinin düşey doğruluğunun araştırılması için farklı veriler temin edilmiştir. Bu kapsamda Yer Kontrol Noktaları (YKN) verisiyle noktasal tabanlı düşey doğruluk değerlendirmesi yapılırken, HGM'den temin edilen SYM verisinin yardımıyla yüzey analizine dayalı düşey doğruluk değerlendirmesi Worldview-2 SYM verisiyle birlikte yapılmıştır.

Göktürk-1 SYM verilerinin Yer Kontrol Noktalarına (YKN) göre analizinde; 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluğu %95 güven aralığında (LE95) 2.51m iken, RPC ile üretilen SYM verisinin doğruluğu LE95'e göre 5.48m çıkmaktadır. Diğer analizde ise ortak kapsama alanı bulunan Göktürk-1 SYM ve Worldview-2 SYM verileri HGM'den temin edilen %90 güven aralığında (LE90) ± 3 m düşey konumsal doğruluğa sahip SYM5 verisi ile birlikte yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre düşey konumsal doğruluk değerlendirmesinde; Worldview-2 SYM ile Gkt-1 SYM yaklaşık sonuçlar verirken, YKN kullanılarak üretilen SYM verilerinde RPC yardımıyla üretilen SYM verilerine göre gözle görülür bir iyileştirmenin olduğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğruluk, Göktürk-1, Rational Polynomial Coefficients (RPC), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Yer Kontrol Noktası (YKN), Worldview-2

ABSTRACT

MS THESIS

ACCURACY ASSESSMENT OF DIGITAL ELEVATION MODEL DERIVED FROM GÖKTÜRK-1 SATELLITE IMAGES Mustafa AKDENİZ

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering

Advisor: Dr.Öğr.Üyesi Lütfiye KARASAKA

2022, 65 Pages

Jury
Prof.Dr. Hakan KARABÖRK
Asst.Prof.Dr. Lütfiye KARASAKA
Asst.Prof.Dr. Osman ORHAN

These days, when technology is developing fast, different kind of systems have taken place in connection with the purpose of reaching and processing data properly. We can get high resolution images of the Earth with no restrictions on satellite Göktürk-1 a using to the giant steps that our country has taken so far. Also, thanks to the transfer of our experiences in the field of remote sensing our data has turned into the high added value products.

Digital elevation model (DEM) is a numerical model that describes the surface of a terrain in three dimensions with the help of mathematical rules and is shown using the elevation information of the terrain. Satellite images are frequently preferred in DEM production due to advantages such as economy, less need for manpower, production speed and ease of access to data. Thanks to the improvements made on the RPC (Rational Polynomial Coefficients) model, which is one of the auxiliary parameters of satellite images, data with high positional accuracy can be obtained today compared to past times.

In this thesis study, different data were provided to investigate the vertical accuracy of the DEM data produced from Göktürk-1 satellite images. In this context, while point-based vertical accuracy assessment was carried out with Ground Control Points (GCP) data, vertical accuracy assessment based on surface analysis was carried out with Worldview-2 DEM data with the help of DSM data obtained from HGM.

In the analysis of Göktürk-1 DEM data according to Ground Control Points (GCP); The accuracy of the DEM data produced using 1 GCP is 2.51m at the 95% confidence level (LE95), while the accuracy of the DEM data produced with RPC is 5.48m according to LE95. In the other analysis, Göktürk-1 DEM and Worldview-2 DEM data, which have a common coverage area, were made together with DSM5 data with vertical positional accuracy of ± 3 m at 90% confidence interval (LE90) obtained from HGM. According to the findings obtained, in the vertical positional accuracy assessment; While Worldview-2 DEM and Gkt-1 DEM give approximate results, it was analyzed that there was a noticeable improvement in the DEM data produced using GCP compared to the DEM data produced with the help of RPC.

Keywords: Accuracy, Digital Elevation Model (DEM), Göktürk-1, Ground Control Points (GCP), Rational Polynomial Coefficients (RPC), Worldview-2

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden daima istifade etmiş olduğum danışmanım saygıdeğer kıymetli hocam Dr. Öğretim Üyesi Lütfiye KARASAKA' ya, hayatım boyunca daima yaslandığım koca bir çınar olan sevgili annem Ayşe AKDENİZ'e ve kıymetli babam Hacı AKDENİZ'e, varlıklarından daima onur ve gurur duyduğum abim İsmail AKDENİZ'e, kız kardeşim Merve AKDENİZ'e ve erkek kardeşim Haris AKDENİZ'e, maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Hanife AKDENİZ'e ve son olarak varlığı mutluluk kaynağım olan gülmesiyle dünyamı güzelleştiren canım kızım Neva AKDENİZ'e teşekkürü borç bilirim.

Stereo WorldView-2 görüntülerinin tarafıma sağlanmasında yardımlarından dolayı Nik Sistem Genel Müdürü Yücel Erbay'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde bana her daim destek olan, tecrübelerinden istifade ettiğim kıymetli şube müdürüm Alb. Fatih Güven GÜLTEKİN'e ve Harita Genel Müdürlüğü Fotogrametri daire başkanı Dr. Müh. Alb. Veysel Okan ATAK'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmada yer alan hususlar bireysel görüşümü yansıtmakta olup, Türk Silahlı Kuvvetlerinin görüşlerini yansıtmaz.

Mustafa AKDENİZ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Uzaktan Algılamada Kullanılan Sistemler	12
3.1.1. Aktif sistemler.....	12
3.1.2. Pasif sistemler	13
3.2. Çözünürlük Kavramı.....	13
3.2.1. Mekânsal çözünürlük	13
3.2.2. Spektral çözünürlük	15
3.2.3. Radyometrik çözünürlük.....	16
3.2.4. Zamansal çözünürlük	17
3.3. Göktürk-1 Uydu Projesi.....	17
3.3.1. Göktürk-1 uydusu teknik özellikleri	19
3.3.2. Göktürk-1 uydusu görüntü seviyeleri	20
3.4. Worldview-2 Uydu Projesi	22
3.4.1. Worldview-2 uydusu teknik özellikleri	23
3.5. RPC (Rational Polynomial Coefficients).....	25
3.6. Epipolar Görüntü	26
3.7. Sayısal Yükseklik Modeli	26
3.8. Temel İstatistik Bilgileri	27
3.8.1. Varyans	28
3.8.2. Standart sapma	28
3.8.3. Karesel ortalama hata.....	28
3.8.4. Medyan (Ortanca)	29
3.9. NSSDA'da (National Standart for Spatial Data Accuracy) Doğruluk	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
4.1. Test Alanı ve Görüntü Özellikleri	31
4.2. Stereo Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi	33
4.3. Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Değerlendirilmesi.....	45
4.3.1. Göktürk-1 SYM verisinin noktasal tabanlı düşey doğruluk analizi	47
4.3.2. Göktürk-1 ve Worldview-2 uydu görüntülerinden üretilen SYM verilerinin SYM5 verisi ile analizi	48
4.3.3. Uyuşumsuz ölçülerin tespiti.....	52

4.4. Tartışma	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.1. Sonuçlar	61
5.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	63



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ALOS	:The Advanced Land Observing Satellite
CBS	:Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Model
DN	:Denetleme Noktası
EM	:Elektromanyetik
EO	:Elektro-Optik
ESA	:European Space Agency
FFTP	:Fast Fourier Transform Phase Matching
GCP	:Ground Control Point
GE	:Google Earth
GNSS	:Global Navigation Satellite System
GSD	:Ground Sampling Distance
HGM	:Harita Genel Müdürlüğü
JAXA	:Japan Aerospace Exploration Agency
LTAN	:Local Time Ascending Node
NCC	:Normalized Cross Correlation
NSSDA	:National Standard for Spatial Data Accuracy
RAR	:Gerçek Açıklıklı Radar
RFM	:Rational Functional Model
RMSE	: Root Mean Square Error
SAR	:Sentetik Açıklıklı Radar
SRTM	:Shuttle Radar Topography Mission
SYM	:Sayısal Yükseklik Modeli
SYM5	:Sayısal Yüzey Modeli 5m
TAS-F	:Thales Alenia Space
TPZ	:Telespazio
TUSAŞ	:Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ
UA	:Uzaktan Algılama
YKN	: Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), bir arazi yüzeyini matematiksel kuralların yardımıyla 3 boyutlu olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik bilgileri kullanarak gösterilen bir sayısal modeldir (Abdikan ve ark., 2007). Geçmişten günümüze kadar SYM ile ilgili yapılmış olan birçok çalışma ve tanımla mevcuttur (Demirkesen 2003, Mazzanti ve ark., 2022, Papadopoulou ve ark., 2021). Uzay ve uydu teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde bilgiye hızlı erişebilme, geniş kapsama alanının sağlanması, ekonomik ve insan gücüne duyulan ihtiyacın az olması gibi faktörlerden dolayı SYM üretiminde hava ve uydu platformları günden güne daha çok tercih edilmektedir (Tadano ve ark., 2014). Uydu platformlarının, uzaktan algılama (UA) disiplinde kullanım alanlarının genişlemesiyle beraber verilerin kalitesinde ve çeşitliliğinde belirgin artışların olduğu gözlenmektedir.

UA alanında uydu platformlarında kullanılan birden fazla sensör çeşidi bulunmaktadır. SYM üretimi noktasında Elektro-Optik (EO) ve Radar uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Radar uzaktan algılama teknolojilerini de iki kategoride inceleyebiliriz. Bunlar, gerçek açıklıklı radar (RAR) ile sentetik açıklıklı radar (SAR) teknolojileridir.

SPOT uyduların uzaydaki görevine başlamasıyla birlikte UA disiplinde stereo uydu görüntülerinden faydalanarak SYM verileri elde edilmeye başlanılmıştır (Şıpka, 2014). Mekânsal çözünürlüğün 10m ve üzeri olduğu SPOT uydulardan, teknolojinin gelişmesi sayesinde 30cm mekânsal çözünürlüğe sahip EO uydu sensörleri günümüz dünyasında yerini almaktadır. Mekânsal çözünürlüğün giderek hassas olması yer yüzeyini daha iyi tanımlayan kaliteli SYM verilerinin oluşmasına imkân sağlayabilmektedir.

EO uydulardan temin edilen verilerden UA bilimi yıllardır faydalanmaktadır. Gelişmiş EO sensörlerin kullanıcılara sağladığı hassas radyometri, yüksek konumsal doğruluk ve yüksek zamansal çözünürlük birçok uygulamalarda bu görüntülerin altlık olarak kullanılmasına imkân sağlamıştır.

Ülkemiz keşif ve gözetleme uyduları alanında önemli tecrübelerle sahiptir. Bu tecrübelerin ediniminde ilk yer gözlem uydumuz olan 12m yersel çözünürlükte BİLSAT ile başlamıştır. Bunu sırasıyla RASAT, Göktürk-2 ve son olarak 2016 yılının aralık ayında uzaydaki görevine başlayan Göktürk-1 uydusu takip etmektedir.

Göktürk-1 uydusu 0.5m çözünürlükte siyah-beyaz görüntü oluşturabilirken; kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi bantlarda da 2m çözünürlükte görüntü

oluşturabilmektedir. Göktürk-1 uydusu güneş eş zamanlı yörüngede dünya üzerinde bir tam turunu 98 dk. 11sn. süren zaman zarfında tamamlarken haberleşme bantları olarak X-bant ve S-bantlarını kullanmaktadır.

Uydu ve uzay teknolojisinde son derece ileri düzeyde olan DigitalGlobe firması, bünyesinde takım yıldızı uyduları bulundurması sayesinde kullanıcılarına dünya yüzeyi üzerinde yüksek zamansal çözünürlükte uydu görüntülerini sağlayabilmektedir. Uzaydaki görevine devam eden DigitalGlobe firmasına ait uyduları göreve başlama zamanına göre Worldview-1, GeoEye-1, Worldview-2 ve Worldview-3 uyduları olarak sıralayabiliriz (URL-1). DigitalGlobe teknoloji firmasının sahip olduğu takım yıldızı uyduları sayesinde, günde 3.8 milyon km² görüntü alma kapasitesine sahip olduğundan dünya yüzeyinin %60 kısmını bir ay gibi bir süre zarfında görüntülemektedir.

Worldview-2 uydusu 0.5m yüksek mekânsal çözünürlükte siyah-beyaz görüntüler oluşturma yeteneğinin yanında 8 adet multispektral banda sahip ilk yer gözlem uydusudur. 2009 yılından bu yana uzaydaki görevini sürdüren Worldview-2 uydusu halen aktif halde görüntü alımı yapabilmektedir.

Bu tez çalışmasında yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip stereo Göktürk-1 uydu görüntülerinden elde edilen SYM verilerinin düşey doğruluk analizi farklı kaynaklardan temin edilen verilerle birlikte yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak, yüksek konumsal doğruluğa sahip yer kontrol noktaları (YKN) referans alınarak Göktürk-1 uydu görüntülerinden üretilen SYM verilerinin nokta tabanlı düşey doğruluk analizi yapılmıştır.

Doğruluk analizi çalışmalarında kullanılan diğer yöntemde, Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen Sayısal Yüzey Modeli 5m (SYM5) verisi referans alınarak Göktürk-1 SYM verisinin yüzey analizine dayalı düşey doğruluk değerlendirmesi stereo Worldview-2 uydu görüntülerinden üretilen SYM verileri ile birlikte yapılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında, Göktürk-1 SYM verilerinin doğruluğu farklı veri kaynakları kullanılarak araştırılmıştır. Diğer taraftan Göktürk-1 SYM ve Worldview-2 SYM verilerine ait daha önce literatürde var olan Gültekin ve ark., (2019), Arasan ve ark., (2020), Wang ve ark., (2019) istatistiki bilgilere ilaveten aynı çalışma alanı içerisinde bu iki yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uydulardan üretilen SYM verilerini birlikte değerlendirerek literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Arasan ve ark. (2020) yılında "Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Doğruluk Analizi" adlı makale çalışmasında elde ettiği sonuçlara bakıldığında; yataydaki konumsal doğruluk noktasında ortaya çıkan sonuç Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılmadan yapılan ortofotonun konumsal doğruluğu %90 güven aralığında $\pm 10m$ ' den daha iyiyken, 20 adet YKN kullanarak üretilen ortofotonun yataydaki konumsal doğruluğu ise $\pm 2m$ ' den daha iyi olduğu analiz edilmiştir. YKN kullanılmadan üretilen SYM verisinin doğruluğu %90 güven aralığında $\pm 20m$ ' den, 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verisinin düşeydeki doğruluğu ise $\pm 3m$ ' den daha iyi olduğu görülmüştür.

Aytekin ve ark. (2019) yılında yaptıkları çalışmada Göktürk-1 görüntülerinin konumsal doğruluğunu iki boyutta analiz etmiştir. Test alanı olarak dağlık olan Zonguldak ili seçilmiştir. Çalışma alanını kapsayan Göktürk-1 görüntüsü kullanarak, Global Navigation Satellite System (GNSS) yardımıyla 76 adet bağımsız yer kontrol noktası (YKN) toplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile Rational Functional Model (RFM) metoduyla ortofoto üretilmiştir. Birincil sonuçlara göre, görüntü alanında doğruluğunun, sistematik hata olmadan Rational Functional Model (RFM) kullanılarak yaklaşık ± 1 piksel elde edilebileceğini göstermiştir.

Gültekin ve ark. (2019) yılında yayınladıkları "Geometric Accuracy in Satellite Imagery: Test Methods & Göktürk-1 Performance Evaluation" adlı makale çalışmasında Ankara, Antalya, Bergama, Zonguldak ve Adıyaman bölgelerine ait tripleset Göktürk-1 görüntüleri kullanılarak doğruluk analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre; Göktürk-1 görüntülerinin yatay konumsal doğruluğu CE90'a göre; Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanmadan 10m.'den daha iyi sonuçlar veriyorken, YKN kullanarak 2m.'den daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. YKN kullanmadan üretilen SYM verilerinde Göktürk-1 görüntülerinin düşey konumsal doğruluğu LE90'a göre 10m.'den daha iyi sonuçlar veriyorken YKN kullanılarak üretilen SYM verilerinde 2m.'den daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Boccardo ve ark. (2019) yılında yayınladıkları "Digital Surface Models Extraction by Göktürk-1 Satellite Stereo Pairs" adlı makale çalışmasında İtalya'nın Roma bölgesine ait Göktürk-1 verileri ile Lidar verileri kullanılarak nokta tabanlı ve yüzey tabanlı analiz yapılmıştır. Nokta tabanlı analizde; Lidar verisinden 101 kontrol noktası belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlarda yükseklik farkları -0,43m ile 3,17m arasında değişkenlik gösterirken, karesel ortalama hata değeri 0,67m olarak hesaplanmıştır. Yapılan diğer

analiz çalışması için uygulama bölgesi olarak antik şehir olan Circo Massino bölgesi seçilmiştir. Lidar tabanlı analizde arazi kesit profili 18,7m ile 19,3m arasında değişen yükseklik değerlerine sahip olurken, uydu tabanlı analizde arazi kesit profili ise 19,2m ile 20,4m arasında yükseklik değerleri aldığı tespit edilmiştir.

Maretika (2017) yılında yayınladığı “Designing Software Prototype for Digital Surface Model Extraction from Stereo Satellite Imagery Based on Rational Function Model” adlı makale çalışmasında Rational Function Model (RFM) tabanlı görüntü eşleştirme yöntemini stereo Worldview-2 görüntüsünde kullanarak DSM verisini elde edip doğruluk analizi yapmıştır. Elde edilen bulgular hassas denetleme noktaları ile kıyaslandığında; yatay konumsal doğruluğu CE90’ a göre 2.48m hesaplanırken, düşey konumsal doğruluğu LE90’a göre 4.21m olarak hesaplamıştır.

Wang ve ark. (2019) yılında yaptıkları çalışmada uygulama alanı olarak seçilen Tanrı dağlarında Worlview-2 stereo görüntülerinden üretilen SYM verisinin doğruluk analizleri yapılmıştır. YKN'ler kullanılmadan üretilen SYM verisinin doğruluğunu değerlendirmek için YKN'ler kontrol noktaları olarak kullanıldığında, düşey konumsal doğruluk yaklaşık 1,82m çıkmıştır. YKN kullanarak üretilen SYM verisinin düşey konumsal doğruluğu 0.29m olarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler bütünsel bir şekilde değerlendirildiğinde tektonik bölgelerde deforme olmuş topolojik özelliklerin uydu tabanlı SYM verisi ile ölçülebilir olabileceğini göstermektedir.

Aguilar ve ark. (2013) yılında yaptıkları çalışmada GeoEye-1 ve Worldview-2 stereo uydu verilerinden farklı sayılarda YKN kullanarak SYM verileri üretmiş ve ürettikleri SYM verilerinde kalite değerlendirmesinde bulunulmuştur. Yapılan analizler, GeoEye-1 stereo uydu görüntülerinden elde edilen SYM verisinin LE90’a göre düşey konumsal doğruluğu Worlview-2 görüntülerinden üretilen SYM verisine göre daha iyi çıktığını ortaya koymuştur.

Nikolakopoulos (2020) yılında yaptığı çalışmasında Yunanistan'ın karmaşık jeomorfolojik özelliklere sahip çeşitli alanları örnek olay olarak ele alınarak yaklaşık 30m bir nokta aralığına sahip ALOS Dijital Yüzey Modelinin (AW3D30) doğruluğu incelenmiştir. Kiklad kompleksindeki Antiparos Adası gibi yükseklik farkının az olduğu bölgelerde, ALOS AW3D30 RMSE sadece 2.69m iken, Batı Girit'teki Hanya bölgesi gibi yükseklik farkının çok olduğu bölgelerde ilgili hatanın 14m seviyelerine kadar yükseldiğini ortaya koymuştur.

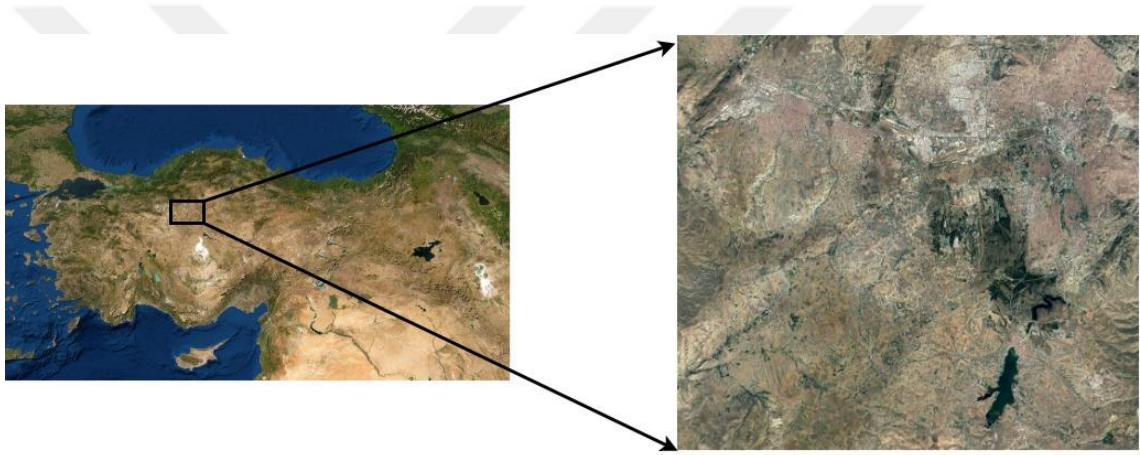
Algancı ve ark. (2018) yılında yaptıkları çalışmalarda, DSM verilerini analiz etmek için Pleiades ve Spot uydu görüntülerinden üretilen yükseklik verileri ile beraber

açık kaynaktan erişim imkânı olan ALOS ve SRTM verilerini de doğruluk analizi çalışmalarında kullanmıştır. Karşılaştırma yapılan yükseklik verileri Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) sağlanan referans veri ile analiz edilginde Pleiades görüntülerinden üretilen SYM verisi doğruluk olarak ön plana çıkarken, açık kaynaktan erişilebilen ALOS yükseklik verisinin de doğruluk değerlerinin başarılı performans gösterdiğini ortaya konulmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında Ankara ili sınırları içerisindeki bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Uygulamada kullanılmak üzere yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip iki adet stereo Göktürk-1 görüntüsü ile bir adet stereo Worldview-2 görüntüsü temin edilmiştir. SYM üretiminde referans yükseklik verisi olarak Japonya Uzay Araştırma Ajansına (JAXA) ait Advanced Land Observing Satellite (ALOS) verisi kullanılmıştır. Üretilen SYM verilerinde nokta tabanlı doğruluk araştırması için yüksek konumsal doğruluğa sahip yer kontrol noktaları (YKN) denetleme noktaları (DN) olarak kullanılırken, yüzey analizi için Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen Sayısal Yüzey Modeli 5m (SYM5) verisi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı (Ankara)

3.1. Uzaktan Algılamada Kullanılan Sistemler

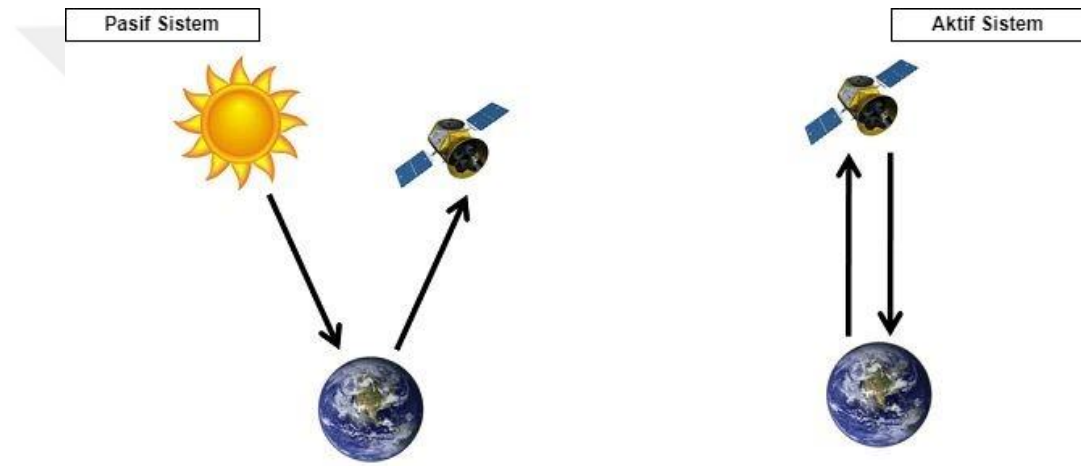
3.1.1. Aktif sistemler

Aktif algılama, sensörün kendi kaynakları ile yaptığı algılamadır. Yer yüzeyi tarafından yansıyan güneş radyasyonunu almadan, aktif sensörler belirli bir dalga boyu ile hedef nesnelere tarafından yansıtılan ışınları yakalama prensibine göre çalışır (Zheng ve Moskal, 2009). Bu yöntemde gece gündüz olması 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 algılayıcılar ömürlerini depoladıkları enerjileri bitirmesiyle tamamlar. Radar sistemleri ve Lidar sistemleri aktif uzaktan algılayıcı sistemlerin çalışma prensibine göre çalışmaktadır. Uydu ve hava platformlarında Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri aktif algılayıcı

sistemleri prensibine göre çalışmasının getirdiği avantajlar sayesinde, meteorolojik olaylardan bağımsız, gece gündüz kısıtlaması olmaksızın günün herhangi bir zamanında görüntüleme yapılabilir.

3.1.2. Pasif sistemler

Pasif sistemler, yeryüzünün doğal yayılım enerjisi veya güneş enerjisinin yansıtımını algılayan optik, ısı ve mikrodalga algılayıcılardır. EO sensörler pasif algılama sistemlerinin çalışma prensibine göre çalışmaktadır. Pasif sistemlerde cisimlerden yansıyan enerjiye bağımlılık söz konusu olduğu için atmosferik şartlar ve gece/gündüz zaman değişiminden etkilenmektedir.



Şekil 3.2. Aktif ve Pasif algılama sistemleri çalışma prensipleri (URL-2)

3.2. Çözünürlük Kavramı

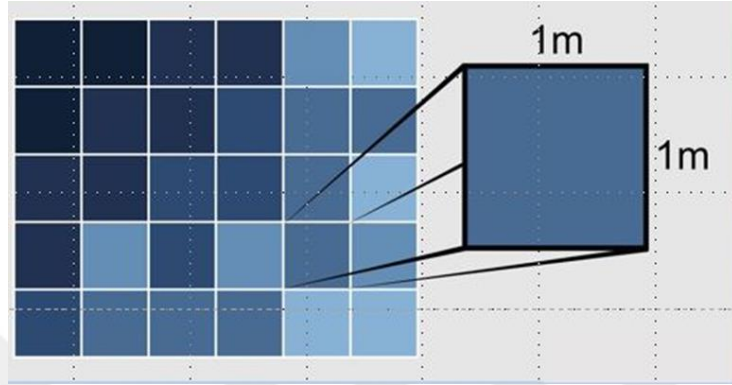
UA ile elde edilen görüntülerde çözünürlük genel bir tanım ile açıklanması zor bir kavramdır. Bu yüzden çözünürlük kavramı; mekânsal çözünürlük, spektral çözünürlük, radyometrik çözünürlük ve zamansal çözünürlük olmak üzere dört başlık altında açıklanmaktadır.

3.2.1. Mekânsal çözünürlük

Mekânsal çözünürlük kavramı uzaktan algılama sistemleri için önemli bir sistem performans parametresidir. Mekânsal çözünürlük görüntüde ayırt edilebilir detay seviyesini gösteren bir özelliktir. Diğer bir ifade ile bir uydu görüntüsünde görünen detaylar, algılayıcının mekânsal çözünürlüğüne bağlı olup bu değer, görüntünün en küçük

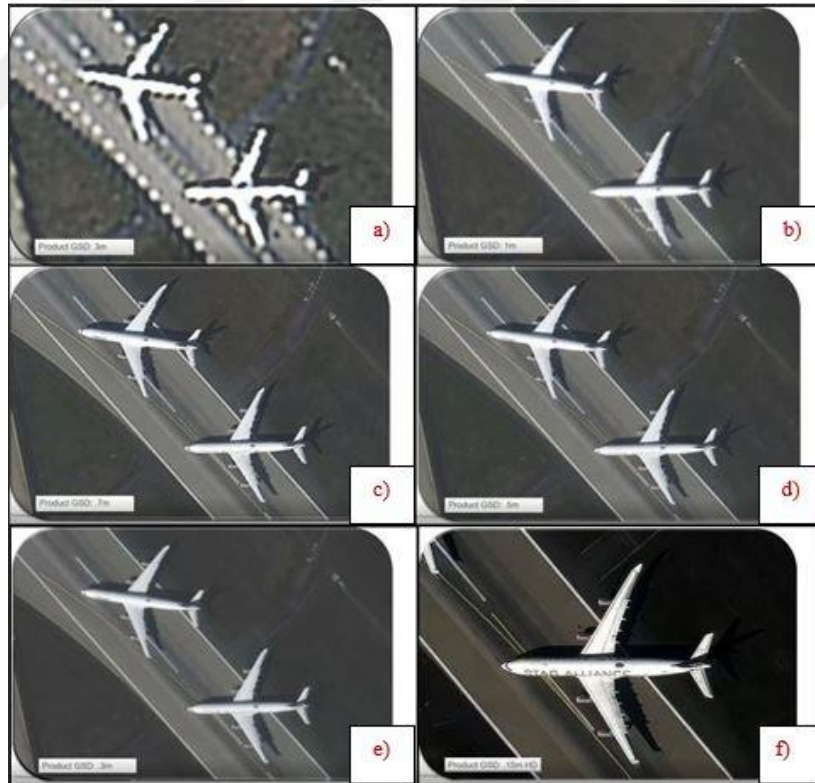
elemanı olan pikselin yeryüzünde kapladığı alana karşılık gelmektedir (Hacıağaoğlu, 2013).

Raster veride küçük boyutta piksellerde detaylı görüntüleme yapabilirken bu piksel boyutları büyüdüğü zaman görüntülerdeki detay azalır ve çok keskin olmayan bulanık görüntü oluşmaya başlar.



Şekil 3.3. Raster veride mekânsal çözünürlük şematik gösterimi

Görüntü yorumlanırken mekânsal çözünürlüğün görüntü üzerindeki etkisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.¹



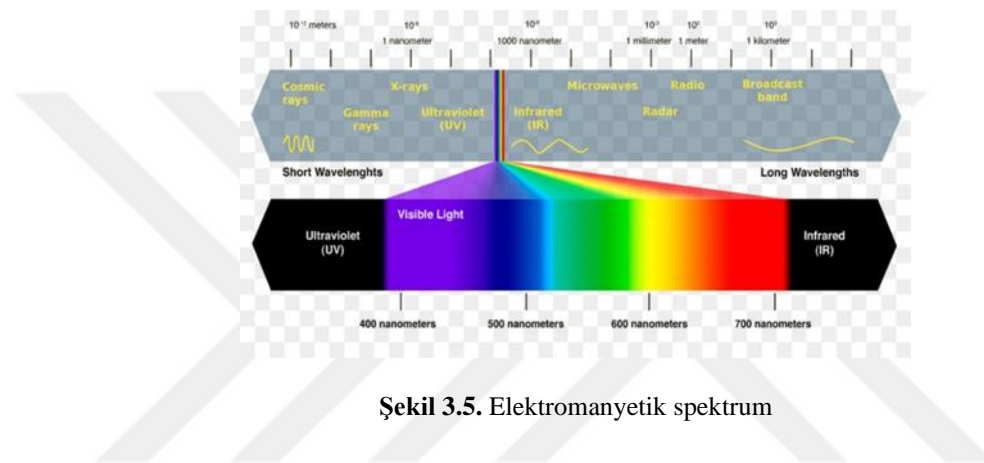
Şekil 3.4. a) 3m çözünürlük b) 1m çözünürlük c) 0.7m çözünürlük d) 0.5m çözünürlük e) 0.3m çözünürlük f) 0.15m çözünürlük (URL-3)

¹<https://resources.maxar.com/optical-imagery/i-cant-believe-its-not-aerial-innovations-in-satellite-imagery> Erişim tarihi: 27.03.2022

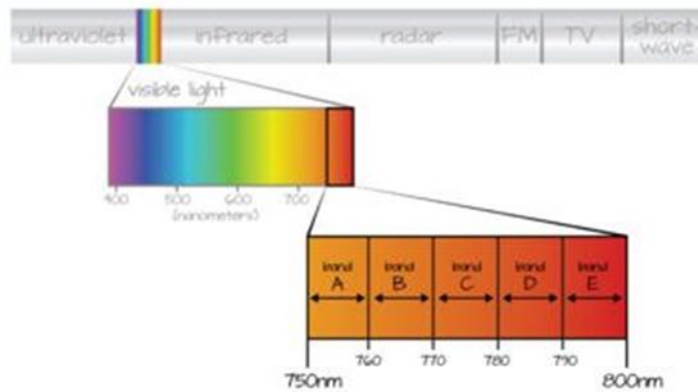
3.2.2. Spektral çözünürlük

Spektral çözünürlük, algılayıcının duyarlı olduğu dalga boyu aralıkları ile ilgilidir. Spektral çözünürlüğün iyi olması bir kanal ya da bandın algıladığı dalga boyu aralığının küçük olduğunu gösterir. Kuramsal olarak, spektrum ne kadar çok ve küçük parçaya ayrılırsa, spektral ayırma gücü o kadar artar (Çetin, 2020).

Uzaktan algılama sistemlerinde görüntünün oluşumunda öncelikle yeryüzünden yansıyan elektromanyetik enerji algılayıcı sistemler (aktif sistemler, pasif sistemler) tarafından algılanır. Elektromanyetik spektrumda dalga boyları Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



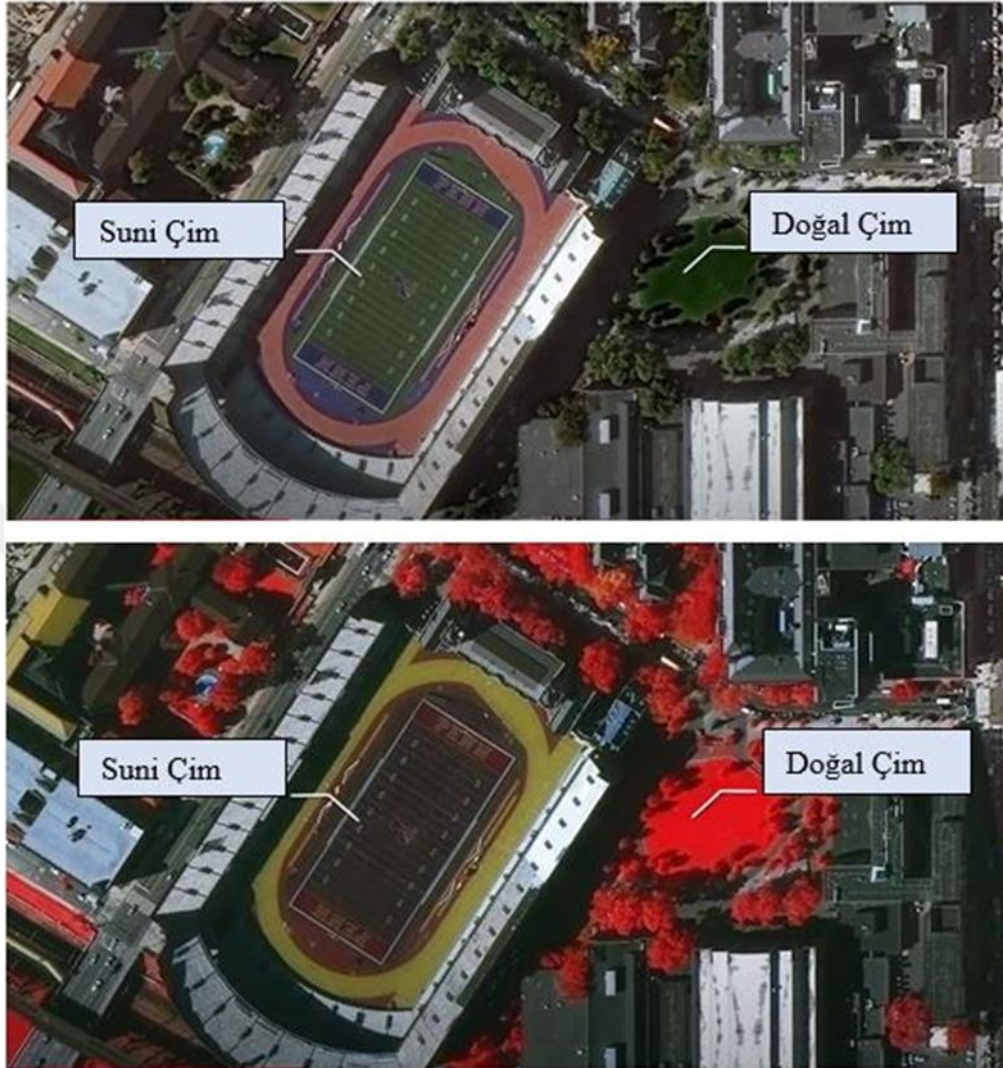
Şekil 3.5. Elektromanyetik spektrum



Şekil 3.6. Elektromanyetik spektrumda tanımlanmış bantlar

Birden fazla bant içeren bir görüntünün spektral çözünürlüğü, veri kümesindeki her bandın spektral genişliğini ifade eder. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise insan gözünün gördüğü dalga boyunun 400 ile 700 nanometre (nm) arasında iken, elektromanyetik spektrumda dalga boyları kilometrelere (km) kadar uzanabilmektedir. Spektral çözünürlük kavramı bu noktada önem arz etmektedir. Algılayıcılar, elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarında ve algılama yapılan band sayısının

fazla olması durumunda gözle görülemeyen analizlerin yapılmasına olanak sağlayabilecektir.

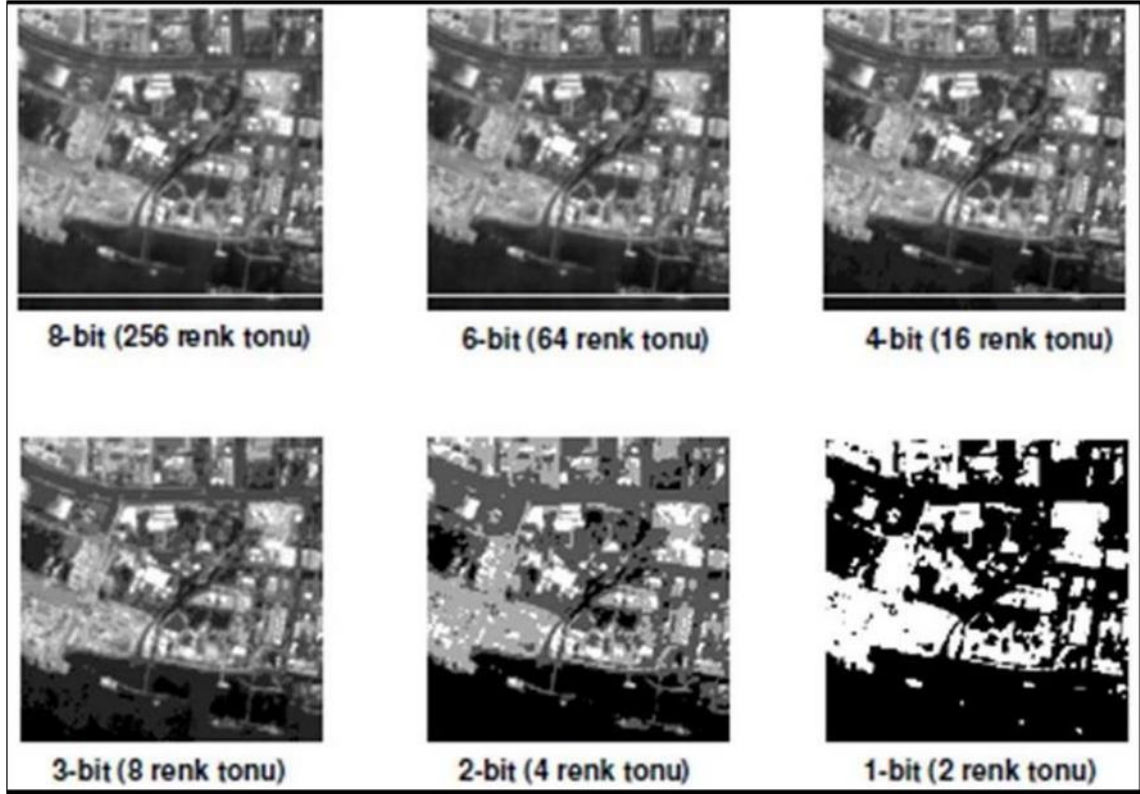


Şekil 3.7. Spektral çözünürlüğün görüntü analizindeki önemi (URL-4)

Şekil 3.7’de görüldüğü üzere EO görüntünün analizi yapılmak istenildiğinde ilk etapta çıplak gözle bakarak yorum yapılabilir. Fakat uydunun bantları ile bu analizi yaptığımızda gerçekte olanın gözle algılanandan daha farklı olduğu çıkarımına ulaşılır.

3.2.3. Radyometrik çözünürlük

Radyometrik çözünürlük elektromanyetik enerji miktarında sahip olunan hassasiyeti göstermektedir. Bir başka deyişle, bir görüntüleme sisteminin radyometrik çözünürlüğü, enerji farklılıklarını ayırt edebilme yeteneğidir. Buradaki enerji farklılıkları, ayırt edilmesi mümkün olan gri tonu sayısına denk gelir (URL-5).



Şekil 3.8. Azalan radyometrik çözünürlük (URL-5)

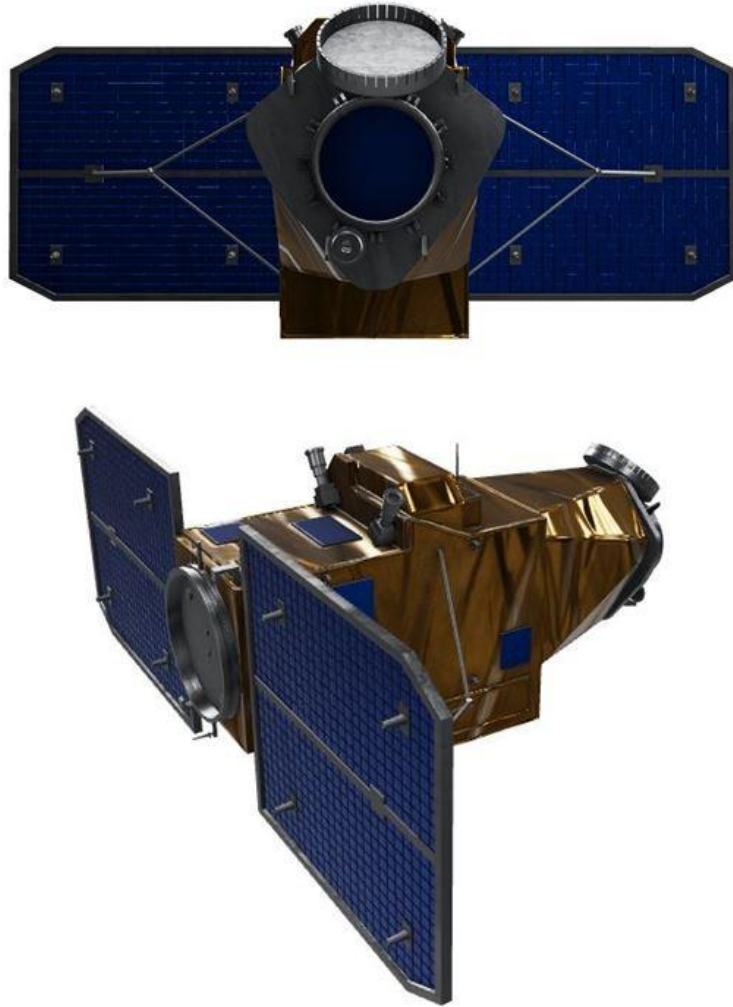
3.2.4. Zamansal çözünürlük

Günümüz dünyasında zaman ve değişim arasında baş döndüren ilişki bulunmaktadır. Ticari uydu şirketleri, görüntülerini müşterilerine sunarken zamansal çözünürlük kavramına büyük önem vermektedir. Uyduların hedef alandan ne kadar sıklıkla görüntü alabildiği zamansal çözünürlük olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde takım yıldızı uyduları sayesinde zamansal çözünürlük önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Bu durum ani değişikliklerin doğru izlenmesinde ve büyük doğal afet durumlarında verimli müdahale etme imkânı sunmaktadır (Benediktsson ve ark., 2012).

3.3. Göktürk-1 Uydu Projesi

Dünya üzerinde herhangi bir bölgeden coğrafi kısıtlama olmaksızın görüntü alabilen Göktürk-1 uydusu, Avrupa Uzay Ajansına (ESA) ait VEGA fırlatma sistemi ile Fransız Guyana'sından 05 Aralık 2016 tarihinde Türkiye saati ile 16.51.44'de fırlatılmıştır. Yaklaşık 70 dk. sonra TSİ 18.02.11'de uydu ile ilk temas başarı ile sağlanmıştır. Kabul testlerinin başarıyla tamamlanmasının ardından 4 Aralık 2018 tarihinde kesin kabulü yapılan GÖKTÜRK-1 uydusu, Hava Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde Keşif Uydu Komutanlığı personeli tarafından komuta/kontrol edilmekte ve

işletilmektedir (URL-6). GÖKTÜRK-1 uydu sistemi; coğrafi kısıtlama olmaksızın Dünya üzerinde herhangi bir bölgeden askeri istihbarat amaçlı yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesine imkân tanımakta; aynı zamanda pek çok sivil uygulama alanında da görüntü ihtiyacını karşılayacak kapasiteyi kullanıcılarına sunmaktadır (URL-7).



Şekil 3.9. Göktürk-1 uydu modeli (URL-7)

Göktürk-1 projesinde, uydunun geliştirilmesinden sorumlu yüklenici olarak Fransız Thales Alenia Space (TAS-F) firması, yer sistemleri tedarik, üretim, entegrasyon ve test faaliyetlerinden sorumlu yüklenici olarak ise İtalyan Telespazio (TPZ) firması yer almıştır. Ayrıca proje kapsamındaki birçok iş paketine doğrudan katılım sağlayan Türk Havacılık ve Uzay Sanayi AŞ (TUSAŞ) firması uydunun bazı uçuş bileşenlerini üretmiştir. Göktürk-1 Projesi ile askeri istihbarat amaçlı yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesinin yanı sıra, uzay ve uydu sistemlerine yönelik teknoloji, uzman insan gücü ve altyapı geliştirilmesi, orman alanlarının kontrolü, kaçak yapılaşmanın takibi, doğal afet

sonrası en kısa sürede hasar tespiti, ürün rekolte tespiti, coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi daha pek çok sivil faaliyet alanında da ihtiyaçlara cevap vermesi şeklinde planlanmıştır (URL-6).

3.3.1. Göktürk-1 uydusu teknik özellikleri

Son yıllarda, farklı geometrik ve spektral çözünürlüklere sahip sensörler tarafından elde edilen büyük miktarda uydu görüntülerinin mevcudiyeti, geniş bir uygulama yelpazesinde ana veri kaynaklarından birini temsil etmektedir. Ülkemizin uzay teknolojisindeki UA alanında en güçlü kozu olarak Göktürk-1 yüksek çözünürlüklü uydusu öne çıkmaktadır. Göktürk-1 esnek bir görüş açısına sahiptir. Göktürk-1 uydusu nokta (spot), şerit, geniş alan ve stereo görüntüleme gibi 4 farklı görüntüleme yeteneğine sahiptir. Nokta (spot) görüntüleme işleminde görüntünün genişliği ve uzunluğu 15x15km, şerit görüntüleme ise görüntünün genişliği ve uzunluğu en fazla 15x780km'dir. Göktürk-1 uydusu yörünge istikametine ek olarak doğu-batı ve kuzey-güney istikametine çekim yapabilme kabiliyetine ve mevcut yer istasyonları ile günlük en fazla 902 spot görüntü indirme ve işleme kapasitesine sahiptir. Göktürk-1 uydusunun dünya etrafındaki bir turu yaklaşık 98 dakikadır. Aynı noktanın tekrar çekimi için gerekli zaman ise 2-3 gün arasındadır. Göktürk-1 uydusu biri pankromatik (siyah-beyaz) ve dördü multispektral (Red-Green-Blue-Near IR) olmak üzere toplam beş adet bantta görüntüleme yapabilmektedir (Gürçay, 2019).

Göktürk-1 uydusu yüksek çözünürlüklü doğrusal dizin dedektörleri (pushbroom kamera) ile pankromatik çekim modunda 0.5m çözünürlükte, multispektral modda ise 2m çözünürlükte görüntü alabilme yeteneğine sahiptir. Göktürk-1 uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Göktürk-1 uydusu teknik özellikleri

Özellikler	Göktürk-1
Yörünge Tipi	Güneş Eş Zamanlı
Yörünge İrtifası	681 km
Eğim Açısı	98,11°
Yörünge Hızı	7,5 km/saniye
Periyot	98 dk. 11 s.
Spot Boyutu	15x15km
Şerit Genişliği	15km
Şerit Uzunluğu	780km (tek geçişte indirebilecek) 14.300km (azami çekim kabiliyeti)
Uydu Kütlesi	1061kg (Yakıt Dahil)
Çözünürlük	0.5m Siyah-Beyaz 2m Renkli
GSD2	
Radyometrik Çözünürlük	12-Bit
Spektral Bandlar	PAN, RGB, NIR
LTAN3	10:30
Haberleşme Bantları / Hızları	X-Band / 800 Mbps S-Band / 1,6 Mbps
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme açısıyla) 11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)
Günlük Yörünge Sayısı	14-15
Uydu (On-Board) Depolama Kapasitesi	192 Gbyte
Yer İstasyonu Depolama Kapasitesi	6 PByte

3.3.2. Göktürk-1 uydusu görüntü seviyeleri

Göktürk-1 uydusu güneş eş zamanlı yörüngede ve 681km irtifada herhangi bir coğrafi kısıtlama olmaksızın Dünya yüzeyi üzerinde görüntüleme yapabilmektedir. Uydu, hedef alandan çekimi yaptıktan sonra eş zamanlı olarak veriyi yer istasyonuna aktarmaktadır. Yer kontrol istasyonunda görüntünün kullanıcılara dağıtımını yapılmadan önce görüntü işleme adımlarından geçmektedir. Bu adımlar; temel seviye görüntü işleme ve ileri seviye görüntü işleme olarak gerçekleşmektedir. Göktürk-1 uydu görüntülerine yönelik temel ve ileri seviye işlemlerini tanımlayan (Seviye 0 - Seviye 6) yedi adet görüntü seviyesi mevcuttur.

² GSD (Ground Sampling Distance): Yer Örnekleme Aralığı

³ LTAN (Local Time Ascending Node): Yükseliş Düğümü Yerel Zamanı: Bir uydunun ekvatoru güneyden kuzeye doğru katedişi esnasında ekvatoru kestiği bölgedeki yerel saat

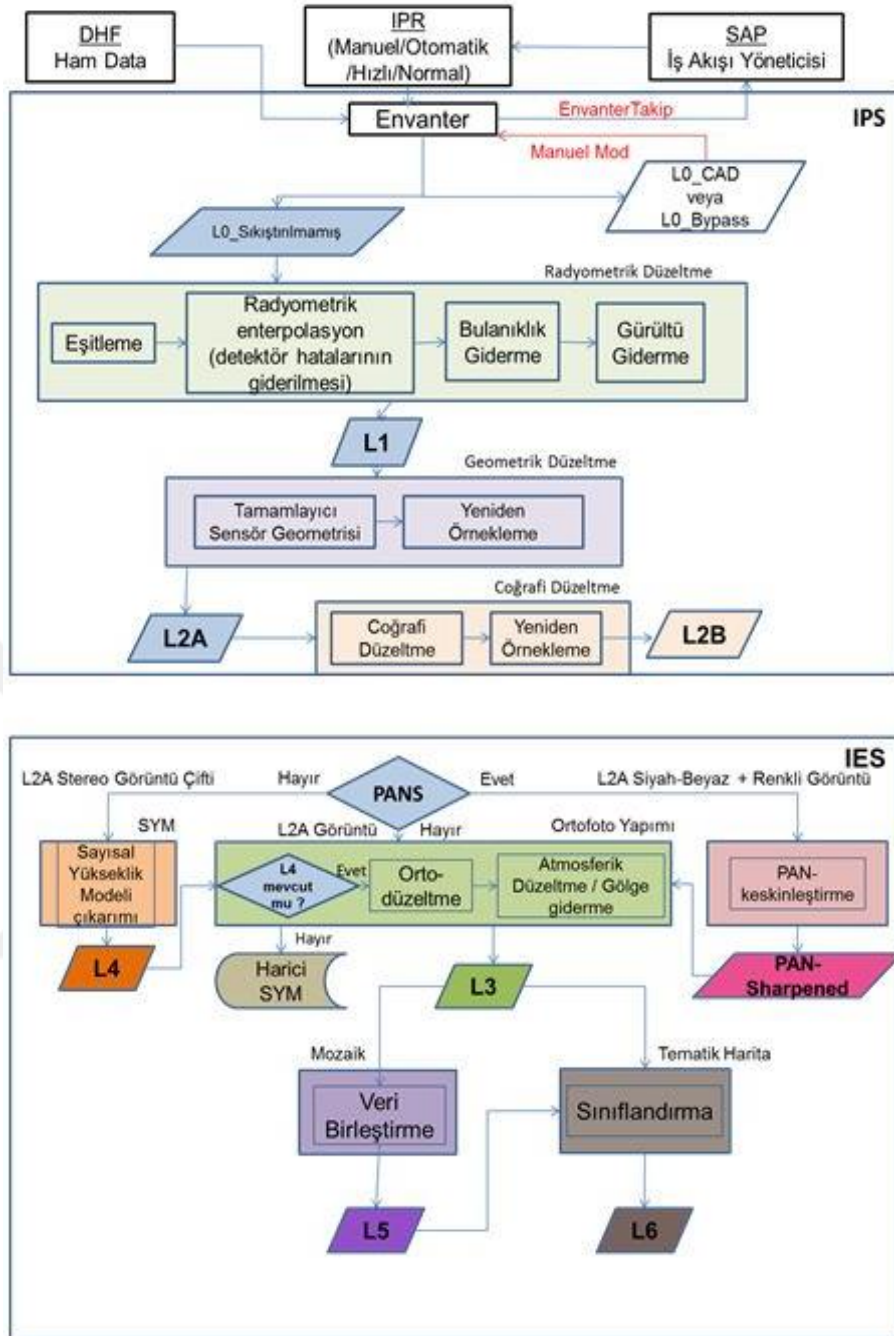
Çizelge 3.2. Göktürk-1 uydusu görüntü işleme adımları

Seviye	Görüntü Özelliği	Sınıflandırma
Seviye 0 (L0)	Ham Görüntü	Temel Seviye Görüntü
Seviye 1 (L1)	Radyometrik düzeltmesi yapılmış görüntü (detektör hataları, gürültü ve bulanıklık giderme işlemi yapılmış görüntü)	
Seviye 2A (L2A)	Geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü (Dünyanın eğikliğinden ve yöneliminden kaynaklı hataların giderilerek oluşturulan görüntü)	
Seviye 2B (L2B)	L2A seviye görüntüyü georektifiye ederek (belirlenen elipsoid modeline projeksiyonu yapılan) elde edilmiş görüntü	İleri Seviye Görüntü
Seviye 3A (L3A)	Ortogörüntü	
Seviye 3B (L3B)	Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılarak üretilen ortogörüntü	
Seviye 4 (L4)	Stereo görüntü çiftlerinden oluşturulan sayısal yükseklik modeli	
Seviye 5 (L5)	Mozaiklenmiş Görüntü	
Seviye 6 (L6)	Sınıflandırılmış Görüntü	

Kullanıcı isteklerine göre Göktürk-1 uydusu çekim planlaması yapılır. Hedef bölgeye ait uydu çekimini yapıldıktan sonra yer kontrol istasyonuna ham görüntü (L0) transferi gerçekleştirilir. L0 seviye görüntü üzerinde çeşitli görüntü işleme algoritmaları çalıştırılarak radyometrik düzeltmesi yapılmış Seviye 1 (L1) görüntüler elde edilmiş olur. Elde edilen L1 seviye görüntüler üzerinden geometrik düzeltme yapılarak Seviye 2A (L2A) görüntüler oluşturulur, bu görüntülere coğrafi düzeltme yapılarak Seviye 2B (L2B) görüntüler elde edilir.

L2A görüntülerini kullanarak yükseklik verilerinin yardımıyla ortofoto elde etme işlemiyle L3A seviye görüntüler oluşturulurken, ortofoto yapma aşamasında yer kontrol noktaları kullanılırsa L3B seviye görüntüler elde edilir.

Seviye 4 (L4A) görüntüler elde edilmesinde L2A seviye görüntüler kullanılır, ortofotolar (L3A, L3B) kullanarak tematik harita (L6) ve mozaiklenmiş görüntüler (L5) üretilir.



Şekil 3.10. Göktürk-1 uydusu görüntü işleme süreci (Ünal, 2020)

3.4. Worldview-2 Uydu Projesi

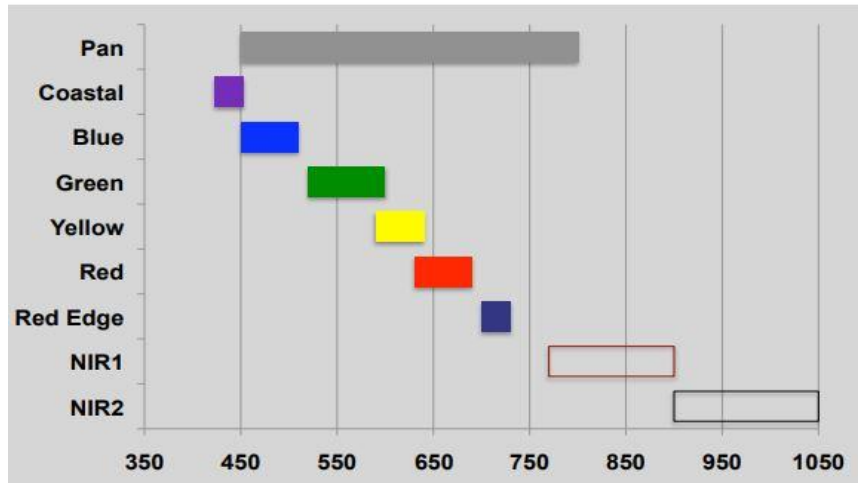
Worldview-2 uydusu 8 Ekim 2009 tarihinde Delta 7920 fırlatma aracı ile Kaliforniya Vandenberg Hava Üssünden uzaya gönderilmiştir. DigitalGlobe teknoloji firması bünyesinde yer alan Worldview-2 uydusu ticari amaçlı olarak kullanılan yer gözlem uyduları arasında yer almaktadır.



Şekil 3.11. Worldview-2 uydu modeli (URL-8)

3.4.1. Worldview-2 uydusu teknik özellikleri

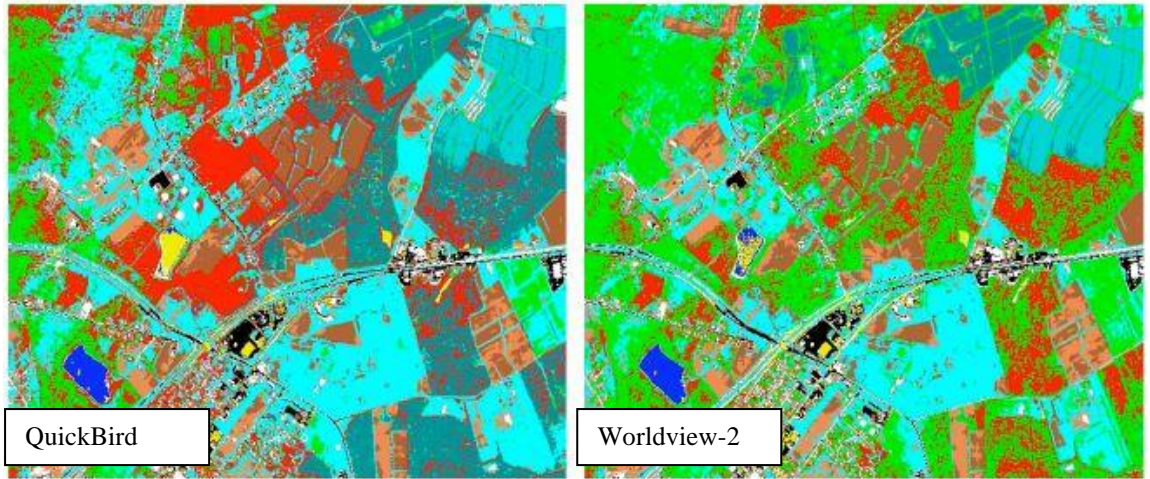
DigitalGlobe teknoloji firmasının QuickBird ve WorldView-1 uydularından sonra sahip olduğu 3. yer gözlem uydusu olan Worldview-2 uydusu, dünya yüzeyinden yaklaşık olarak 770km irtifada güneş eşzamanlı yörüngede görüntüleme yapabilmektedir. Worldview-2 uydusu nadirde, mümkün olan en iyi mekansal çözünürlük olan 0.46m çözünürlüğü pankromatik modda verirken, 1.84m çözünürlüğü ise multispektral modda vermektedir. Worldview-2 uydusu bir adet pankromatik ve 8 adet multispektral olmak üzere toplamda 9 adet spektral banda sahiptir.



Şekil 3.12. Worldview-2 uydusu spektral bandları (Dalga boyu nm birimindedir)

Worldview-2 uydu görüntülerinde 8 multispektral band, her biri 4 multispektral banddan meydana gelen multispektral-1 (MS1) ve multispektral-2 (MS2) olarak adlandırılan iki dizi halinde tanımlanmıştır. MS1 dizisini; Red, Green, Blue ve NIR-1 bandları meydana gelirken, MS2 dizisini ise Coastal, Yellow, Red Edge ve NIR-2 bandları meydana getirmektedir. Multispektral band çeşitliliğinin fazla olması UA çalışmalarında kullanıcıların yaptığı çalışmalara pozitif yönde etki etmektedir.

Şekil 3.13’de 4 adet multispektral banda sahip olan QuickBird uydusu ile 8 adet multispektral banda sahip olan Worldview-2 uydu görüntülerini kullanarak yapılan sınıflandırma çalışması yer almaktadır. Aynı uygulama alanında yapılan sınıflandırma çalışmasının doğrulukları; QuickBird uydu görüntüsünde %47.3 iken Worldview-2 uydu görüntüsünde %76.5 değerini göstermektedir (URL-8).



Şekil 3.13. QuickBird ve Worldview-2 uydu görüntülerinde sınıflandırma (URL-8)

Çizelge 3.3. Worldview-2 uydusu teknik özellikleri (URL-9)

Fırlatma Bilgileri	Tarih: 8 Ekim, 2009 Fırlatma Aracı: Delta 7920 Fırlatma Alanı: Vandenberg Hava Üssü, Kaliforniya-ABD
Yörünge	Yükseklik: 770 kilometre Tip: Güneş senkronizasyonlu, Periyod: 100 dakika
Uydu Ömrü (Tahmini)	7.25 yıl
Uydu boyutu ve güç özellikleri	4.3 metre uzunluk x 2.5 metre boyunda 7.1 meters açılmış solar boyutu 2800 kg, 3.2 kW solar array, 100 Ahr pil gücü
Spektral Bantlar	Siyah-Beyaz: 450 - 800 nm, 8 band Renkli: Kıyısız: 400 - 450 nm Kırmızı: 630 - 690 nm Mavi: 450 - 510 nm Kırmızı Kenarı: 705 - 745 nm Yeşil: 510 - 580 nm Yakın-IR1: 770 - 895 nm Sarı: 585 - 625 nm Yakın-IR2: 860 - 1040 nm
Yersel Çözünürlük	Siyah-Beyaz: 0.46m (nadir), 0.52m at 20° derece off-nadir Renkli: 1.84m (nadir), 2.08m at 20° derece off-nadir
Radyometrik Çözünürlük	11-bit
Şerit Genişliği	16.4km (nadir)
Uydu Veri Kapasitesi	2199 gigabit solid state HardDisk
Maksimum Çekim Açısı	Nominal olarak +/-45° off-nadir
Yeniden Geçiş Sıklığı	1.1 gün- 1 m. GSD veya daha az 3.7 gün 20° off-nadir veya daha az (0.52 m. GSD)
Konum Doğruluğu (CE90)	6.5m

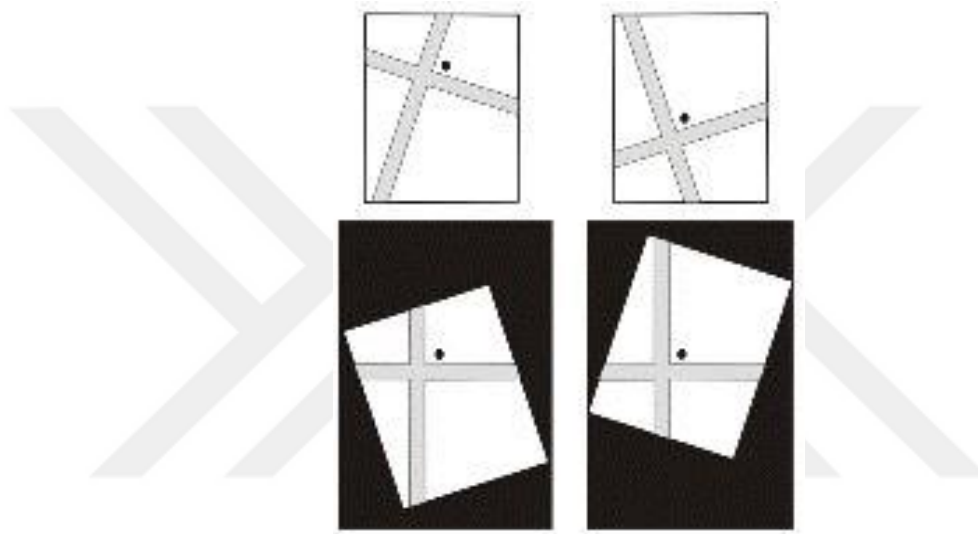
3.5. RPC (Rational Polynomial Coefficients)

RPC, yüksek yaklaşım doğruluğu elde edebilen geliştirilmiş bir sensör modelidir. RPC modeli, görüntü pikseli koordinatları yer koordinatları polinomlarının oranları olarak ifade edilir (Guo ve Xiuxiao, 2006). Bir başka ifade ile iki boyutlu resim koordinatlarıyla üç boyutlu yer düzlemini temsil eden enlem, boylam ve elipsoid yüksekliği arasında ilişki kuran bir matematik modeldir. Çoğu ticari uydu firmaları (Pleiades, Worldview-1, Worldview-2, Worldview-3, Geoeye-1 vb.) kullanıcılarına uydu görüntülerini RPC dosyaları ile birlikte sunmaktadır.

RPC modeli hem push-broom hem de SAR görüntüleri için uygundur. RPC'lerden alınan görüntünün koordinat doğruluğunun iyileştirilmesinde araziden YKN noktaları tesis edilerek yapılan arazi bağımlı çalışmalar yapılabilir. RPC modelleri doğrudan ve dolaylı olarak iki şekilde iyileştirilmesi yapılabilir. Doğrudan iyileştirmede; orijinal rasyonel polinom katsayıları güncellemekte olup böylece güncellenmiş RPC'ler mevcut transfer formatını değiştirmeye gerek duymaz. Dolaylı iyileştirme yönteminde görüntü veya nesne uzayında tamamlayıcı dönüşümler gerçekleştirerek orijinal RPC'ler doğrudan değişmemektedir (Hu ve ark., 2004).

3.6. Epipolar Görüntü

Epipolar görüntüler, stereo çiftler olup sağ ve sol görüntülerin yer özellik noktaları her iki görüntüde de aynı koordinatlara sahip olacak şekilde döndürülmesi ile oluşturulmaktadır. Stereo model alan oluşturma işleminde, iteratif olarak uygulanan en küçük kareler ışın demetleri ile dengeleme yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Işın demetleri ile dengeleme işlemi geometrik model parametrelerinin monoskopik ya da stereoskopik olarak toplanan yer kontrol noktaları ve bağlama noktaları yardımı ile iyileştirilmesine olanak vermektedir (Şanlı, 2006).



Şekil 3.14. Epipolar görüntü şematik gösterimi

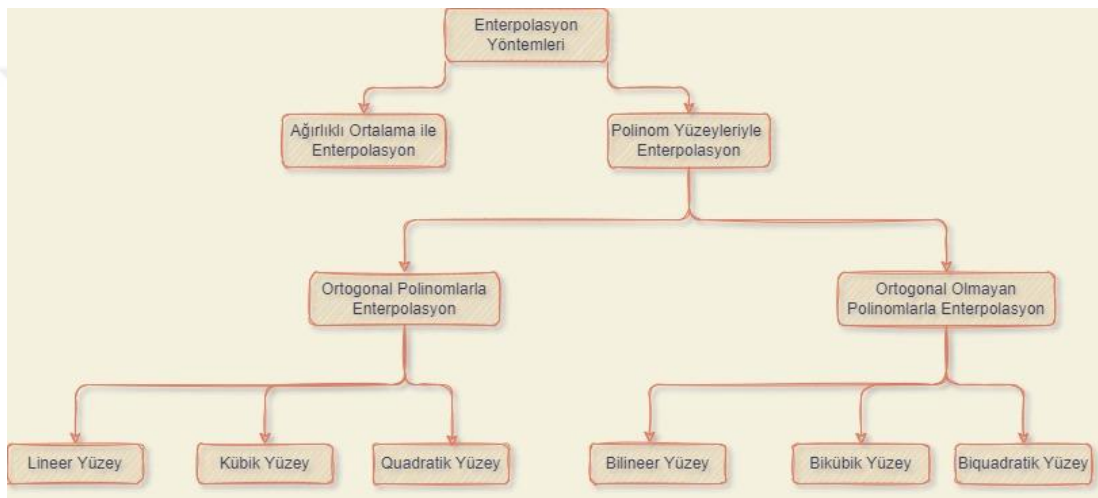
3.7. Sayısal Yükseklik Modeli

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), bir arazi yüzeyini matematiksel kuralların yardımıyla 3 boyutlu olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik bilgileri kullanarak gösterilen bir sayısal modeldir (Abdikan ve ark., 2007). SYM verileri farklı üretim tekniklerini kullanarak üretilebilir. SYM, jeodezik yöntemlerle (GNSS, Nivelman, Totalstation vb.), fotogrametri yöntemiyle (İnsansız Hava Aracı (İHA)), uzaktan algılama yardımıyla (Uydu görüntüsü, yapay açıklıklı radar) ve Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) tekniğiyle üretilebilmektedir (Eroğlu ve Narin, 2021). Günümüzde SYM üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntem stereo verilerinden üretilmektedir. Stereo modelleri kullanarak üretilen otomatik SYM verileri üç işlem adımından oluşmaktadır.

1. Karşılıklı (eşlenik) noktaların bulunması

2. Yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması
3. SYM kontrolü ve düzenlenmesi

Eşlenik noktaların bulunması işlemi görüntü eşleme algoritmalarının çalıştırılması ile yapılır. Bu adımda elde edilen noktalar yüzeyi tam olarak temsil edememektedir. Görüntüde toplanan bütün noktalar seçilse bile mevcut boşluklar olacağından başarılı bir sonuç alınamayacaktır. Konumu bilinen iki nokta arasında kalan bilinmeyen noktaların konumunu belirlemek için yapılan tahminlere enterpolasyon denir. Bir sonraki işlem adımında üç boyutlu noktaların enterpole edilmesiyle yüzey alanı temsil edilecektir. Aşağıdaki şekilde sık kullanılan enterpolasyon örnekleri yer almaktadır.



Şekil 3.15. Enterpolasyon yöntemleri

Sayısal Yükseklik Modellerinden elde edilen doğruluk, topografik özelliklere, örnekleme yoğunluğuna, enterpolasyon yöntemleri ve mekânsal çözünürlük gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Farklı nokta dağılım ve yoğunluklarının, farklı arazi tiplerinin ve yükseklik kestiriminde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin SYM verilerinin oluşturulmasında etkileri elde edilen doğruluk açısından oldukça önemlidir (Gümüş ve Şen, 2017).

3.8. Temel İstatistik Bilgileri

İstatistik bilimi, doğru bir şekilde veri toplama ve verileri bilgiye dönüştürme bilimidir. İstatistik, toplanan verilerden öğrenebilmeyi ve gözlemleri bilgiye dönüştürmeyi sağlar. Bu kapsamda, istatistiksel teknikler, belirsizliklerin var olduğu bir dünyada, bu belirsizlikleri temelde olasılık kavramı aracılığı ile kontrol altında tutar ve gözlemleri bilime dayalı bilgi ve yorum verir hale getirir.

3.8.1. Varyans

Yapılan deneylerde, verilerin aritmetik ortalamadan sapmalarının karelerinin toplamıdır. Basitçe ifade etmek gerekirse, varyans, bir veri kümesi içindeki veri noktalarının ne kadar yayılmış olduğunun istatistiksel bir ölçüsü anlamına gelmektedir.

$$\text{var}=\{((z_0-z_{i1})^2+(z_0-z_{i2})^2+\dots+(z_0-z_{in})^2)\div(n)\} \quad (3.1)$$

Burada z_0 örneklem değerlerinin ortalaması, z_{in} deneysel sonuçların her birinin değeri ve n yapılan deney sayısını ifade etmektedir.

3.8.2. Standart sapma

Standart sapma, bir örnekleme veri değerlerinin yayılımının özetlenmesi için kullanılan bir ölçüdür. Standart sapma genel olarak niceliksel ölçekli sayılar için en çok kullanılan verilerin ortalamaya göre yayılmasını gösteren bir istatistiksel ölçüdür. Eğer birçok veri ortalamaya yakın ise, standart sapma değeri küçüktür; eğer birçok veri ortalamadan uzakta yayılmışsa standart sapma değeri büyük olur.

$$S=\sqrt{\{((z_0-z_{i1})^2+(z_0-z_{i2})^2+\dots+(z_0-z_{in})^2)\div(n-1)\}} \quad (3.2)$$

Burada z_0 örneklem değerlerinin ortalaması, z_{in} deneysel sonuçların her birinin değeri ve n yapılan deney sayısını ifade etmektedir.

3.8.3. Karesel ortalama hata

Yapılan deney sonucunda ortaya çıkan hatalar niceliksel olarak farklılık gösterebilmektedir. Karesel ortalama hata hesaplamalarında, hataların kareleri alındığından ölçüm içindeki büyük hataların ortalama üzerindeki etkisi daha büyük olmaktadır. Bundan dolayı büyük hataların tüm ölçüm üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir.

$$\text{K.O.H.}=\sqrt{\{((z_0-z_{i1})^2+(z_0-z_{i2})^2+\dots+(z_0-z_{in})^2)\div(n)\}} \quad (3.3)$$

Burada z_0 örneklem değerlerinin ortalaması, z_{in} deneysel sonuçların her birinin değeri ve n yapılan deney sayısını ifade etmektedir.

3.8.4. Medyan (Ortanca)

Örneklem veri serisini küçükten büyüğe doğru sıraladığımızda, seriyi ortadan ikiye ayıran değere denir. Gerçek değere en yakın değer olarak tanımlanmaktadır. Eğer deney sayısı tek ise medyanın sıra numarası bir tam sayı olacaktır ve durumda doğrudan medyan değeri bulunacaktır. Eğer deney sayısı çift ise ortanca olan iki değer aritmetik ortalaması medyan değerini vermektedir.

3.9. NSSDA'da (National Standart for Spatial Data Accuracy) Doğruluk

Mekânsal veri doğruluğu için standartlara (NSSDA) göre düşey doğruluğun analizi yapılırken, doğruluğuna güvendiğimiz referans veri ile test verisi arasındaki karşılaştırma yapılmalıdır. NSSDA konum doğruluğu için KOH değerini kullanarak test sonucunun doğruluk değeri %95 güven aralığı (DH95) içerisinde belirlenir. Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS) Sayısal Coğrafi Veri Doğruluk Standartları dokümanı referans alındığında, 500 km²'den küçük alanlarda gerçekleştirilecek yatay ve düşey doğruluk araştırmalarında en az 20 nokta kullanılması tavsiye edilmektedir (ASPRS, 2015).

Çizelge 3.4. Uygulama alanı içerisinde kullanılması tavsiye edilen KN sayıları (ASPRS, 2015)

Proje Alanı (km ²)	Yatay Test	Düşey Test
	Yatay KN Sayısı	Düşey KN Sayısı
<500	20	20
501-750	25	30
751-1000	30	40
1001-1250	35	50
1251-1500	40	60
1501-1750	45	70
1751-2000	50	80
2001-2250	55	90
2251-2500	60	100

$$KOH_z = \sqrt{[\sum (Z_{veri, i} - Z_{kontrol, i})^2 / n]} \quad (3.4)$$

$Z_{veri, i}$ = kullanılan test verisine ait i ' inci yükseklik değeri, $Z_{kontrol, i}$ = kullanılan referans veriye ait i ' inci yükseklik değeri, n ise test alanındaki kullanılan nokta sayısıdır. Buradaki sistematik hataların en iyi şekilde giderildiği varsayılmıştır. Eğer düşey hata

değerleri normal dağılımlı olduğunda KOH ile doğruluk arasında %95 güven aralığında (LE95) 1.9600 değerinde bir katsayı değeri belirlenmiştir (Greenwalt ve Shultz, 1968).

$$LE95 = 1.9600 \times KOH_z \quad (3.5)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.5. Sayısal yükseklik verisi düşey doğruluk sınıfları (ASPRS, 2015)

Düşey Doğruluk Sınıfı	Yoğun Bitki Örtüsü Olmayan Arazideki KOHz (cm)	Yoğun Bitki Örtüsü Olmayan Arazide %95 Güven Aralığı (cm)	Yoğun Bitki Örtüsü Olan Arazide DH95 (cm)
I	1.0	2.0	2.9
II	2.5	4.9	7.4
III	5.0	9.8	14.7
IV	10.0	19.6	29.4
V	12.5	24.5	36.8
VI	20.0	39.2	58.8
VII	33.3	65.3	98.0
VIII	66.7	130.7	196.0
IX	100.0	196.0	294.0
X	333.3	653.3	980.0

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışma alanı olarak Ankara ili sınırları içerisinde kalan bölge seçilmiştir. Tez çalışması için iki adet stereo Göktürk-1 uydu görüntüleriyle beraber bir adet stereo Worldview-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Stereo Göktürk-1 uydu görüntülerinin kapsama alanı içerisinde dağlık alanlar, göller, çıplak arazi örtüsü, yerleşim yerleri ve ormanlık alanlar yer almaktadır. Stereo Worldview-2 uydu görüntülerinin kapsama alanı içerisinde ise yerleşim alanları, yollar, ormanlık alan ve çıplak arazi örtüsü bulunmakla beraber görece düşük eğime sahip bölgeler olduğu analiz edilmiştir.

Yapılan literatür taramasında Göktürk-1 görüntüleri üzerinde; konumsal doğruluk, sınıflandırma ve pan-keskinleştirme konularında sınırlı sayıda çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Göktürk-1 görüntülerinden üretilen SYM verilerinin analizi nokta tabanlı yapılırken, yüzey analizinin doğruluğu ile ilgili kapsamlı bir çalışmanın literatürde yer almadığı görülmüştür.

Ayrıca bu tez çalışması için Göktürk-1 uydu görüntüleriyle ortak kapsama alanı bulunan 0.5m çözünürlüğe sahip stereo Worldview-2 uydu görüntüsü temin edilmiştir. Aynı çözünürlüğe sahip iki farklı uydu görüntüsünden üretilen SYM verilerinin düşey doğrulukları birlikte değerlendirilmiştir. Bu açıdan literatüre bakıldığında Göktürk-1 ve Worldview-2 uydularının SYM verileri ilk defa bu tez çalışmasında birlikte değerlendirilmiştir.

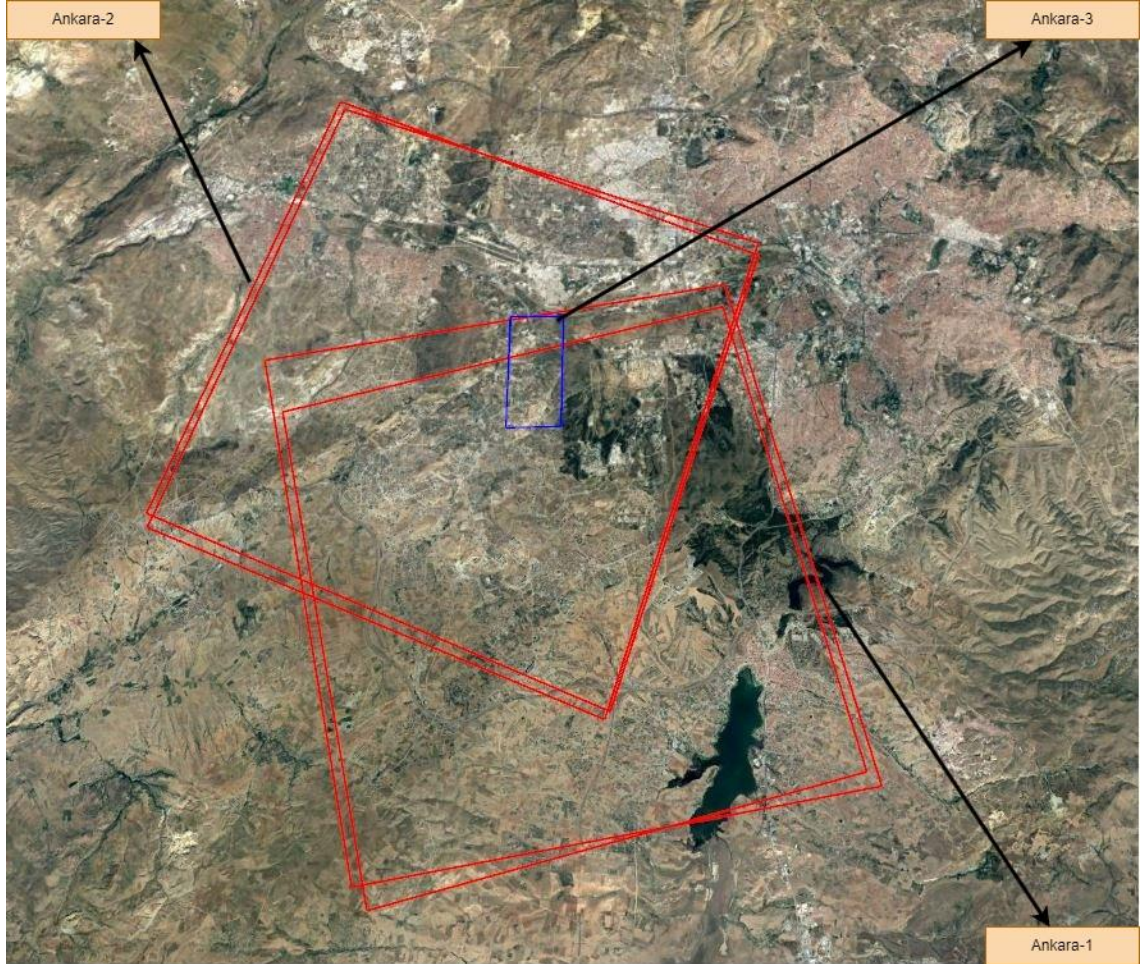
Bu tez çalışmasının amacı, yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan Göktürk-1 uydu görüntülerinden üretilen SYM verisinin doğruluk araştırmasını birbirinden farklı verileri kullanarak kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktır.

4.1. Test Alanı ve Görüntü Özellikleri

Bu tez çalışması kapsamında, çalışma alanı olarak Ankara ilinin Çankaya, Gölbaşı, Yenimahalle ve Etimesgut ilçelerinin sınırlarını kapsayan alan seçilmiştir. Tez çalışması için iki adet stereo Göktürk-1 görüntüsü kullanılmış olup kapsama alanı 496 km²'dir. Çalışmada kullanılan diğer stereo görüntü çifti Wordview-2 uydusuna ait olup 10 km² kapsama alanına sahiptir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan görüntüler

Bölge	Uydu Görüntüsü
Ankara-1	1 Adet Göktürk-1 Stereo Görüntü
Ankara-2	1 Adet Göktürk-1 Stereo Görüntü
Ankara-3	1 Adet Worldview-2 Stereo Görüntü

**Şekil 4.1.** Tez çalışmasında kullanılan stereo uydu görüntülerinin kapsamı

Uygulama yapılacak bölgeye ait stereo çekimi yapılmış Göktürk-1 görüntüleri için Göktürk-1 uydu sisteminden arşiv taraması yapılarak 2020 yılının Kasım ayına ait görüntü çifti ile 2018 yılının Temmuz ayına ait görüntü çifti sistemden indirilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan Worldview-2 stereo görüntü çiftinin temini Nik İnşaat Tic. Ltd. Şti. destekleriyle gerçekleştirilmiştir. Göktürk-1 kapsama alanı içerisinde kalan uygun Worldview-2 görüntüsü temin edilmiştir. Bu kapsamda 2015 yılının Temmuz ayına ait stereo Worldview-2 uydu görüntüsü tez çalışması için kullanılmıştır. Tez çalışmasında çekim tarihleri farklı yıllara ait olan 3 adet stereo görüntü çifti kullanılmıştır. SYM analizi yapılırken bu farklılık göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 4.2. Tez çalışmasında kullanılan stereo görüntü çiftleri

Bölge	L2A Görüntü Çifti	Pitch Açıları
Ankara-1	GKT_GGS_20201113075341	24.31°
	GKT_GGS_20201113075523	28.79°
Ankara-2	GKT_GGS_20180706075229	25.38°
	GKT_GGS_20180706075408	26.47°
Ankara-3	15JUL25084541-P2AS-22EUSI-1343-01	12.8°
	15JUL25084454-P2AS-22EUSI-1343-02	10.3°

4.2. Stereo Uydu Görüntülerinden SYM Üretimi

Tez çalışması kapsamında Göktürk-1 ve Worldview-2 stereo uydu görüntülerinden iki farklı yöntemle SYM verileri üretilmiştir. SYM üretimine ilişkin özet bilgi Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. SYM üretim yöntemleri

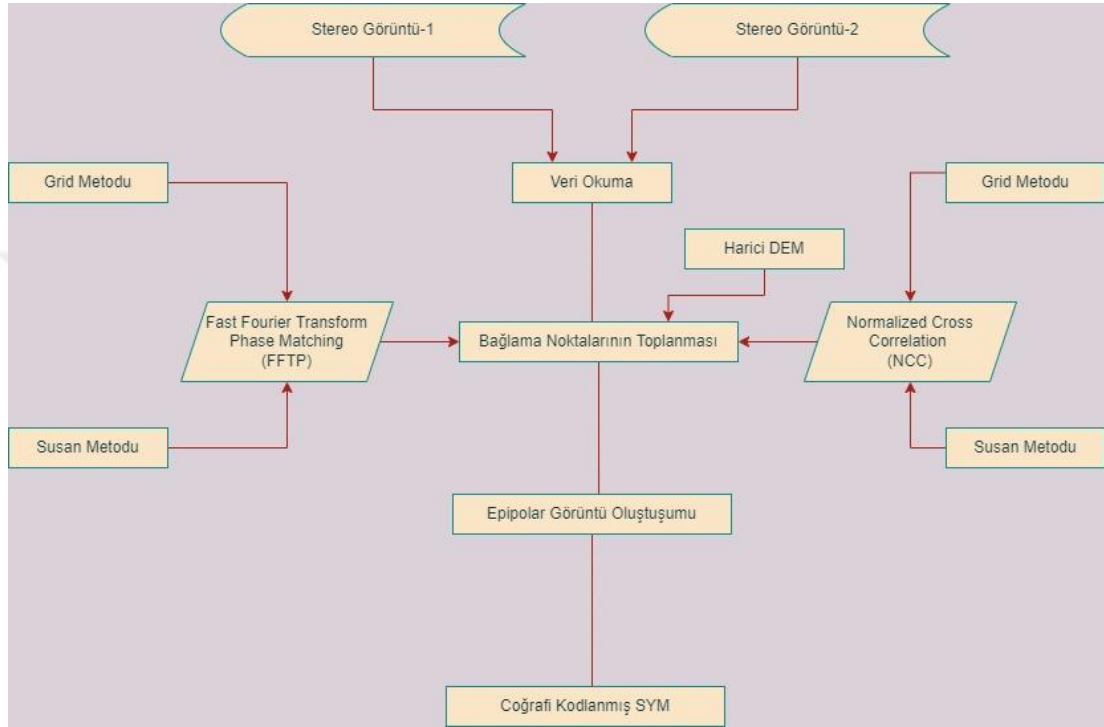
Bölge	RPC	1 YKN
Ankara-1	✓	✓
Ankara-2	✓	✓
Ankara-3	✓	✓

Göktürk-1 görüntülerini ileri seviye işlemek için PCI Geomatica (Catalyst), Erdas Imagine 2018, ArcGIS Pro ve HASAT yazılımları kullanılmaktadır. Worldview-2 uydu görüntülerinin ileri seviye işlenmesini, piyasada bulunan neredeyse tüm CBS yazılımları yapabilmektedir. Bu çalışmada Göktürk-1 ve Worldview-2 görüntüleri PCI Geomatica yazılımı kullanılarak ileri seviye işlenmiştir.

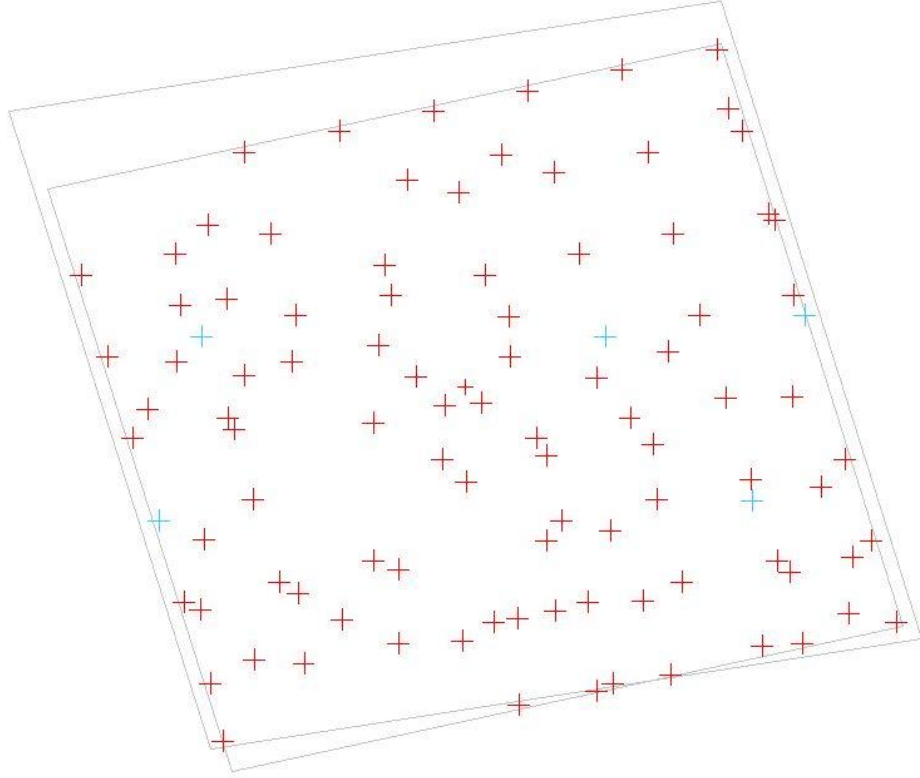
Uzay alanında çalışan teknoloji firmaları son kullanıcıya rasyonel polinom katsayılar olarak adlandırılan RPC dosyalarını görüntü ile birlikte göndermektedir. Uydu görüntülerini ileri seviye işleyebilen ticari yazılımlar, RPC dosyaları yardımıyla her bir uydunun kendine özgü olan matematik modelini tanımlayarak ilgili uydu görüntülerini işleyebilmektedir. RPC dosyası sayesinde uydu görüntülerini işleyebilen ticari yazılımlar, uydu sensör modelini tanıyarak görüntülerin ileri seviye işlenmesinde kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır. RPC dosyalarına sahip uydu görüntülerinin daha hassas şekilde ileri seviye işlenmesi amacıyla YKN ve SYM verileri kullanılmaktadır.

Göktürk-1 görüntülerine ait metadata dosyası içerisinde gömülü olan RPC parametrelerini ile Worldview-2 uydu görüntülerine ait metadata dosyası (.IMD) PCI Geomatica yazılımına tanıtarak SYM üretim çalışmalarına başlanılmıştır. Bu aşamadan sonra Göktürk-1 ve Worldview-2 uydu görüntülerinin PCI 2018 yazılımında “.pix”

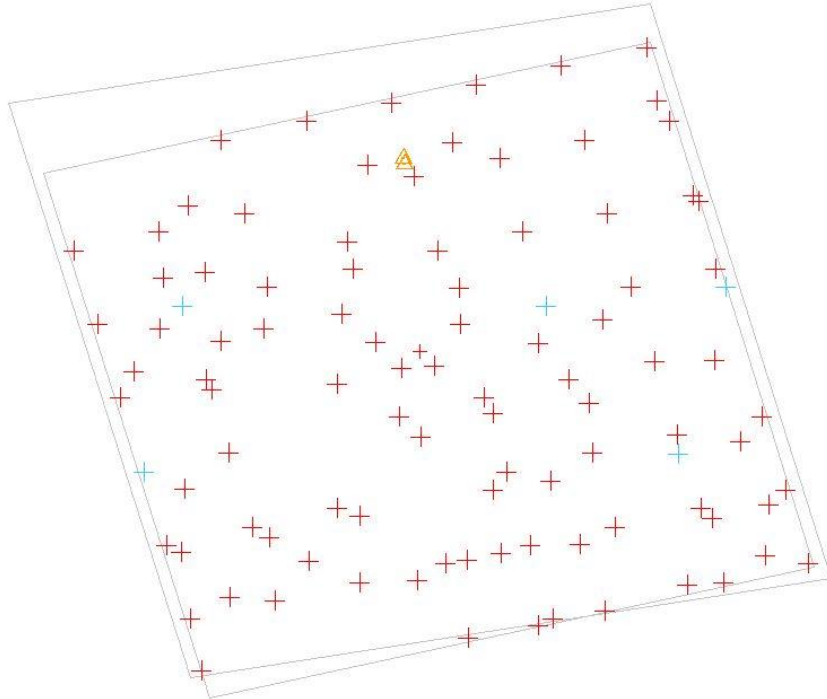
formatlı görüntüleri elde edilmiştir. Stereo görüntüler arasında bağlama noktası (tie point) oluşturmak için, Fast Fourier Transform Phase Matching (FFTP) görüntü eşleme yöntemi yardımıyla ALOS yükseklik verisi referans alınarak bağlama noktaları toplanmıştır. Mevcutta toplanan bağlama noktası sayısını artırmak için yazılımda yer alan Normalized Cross Correlation (NCC) görüntü eşleme yöntemi de kullanılarak toplanan bağlama noktası sayısının artırılması sağlanmıştır.



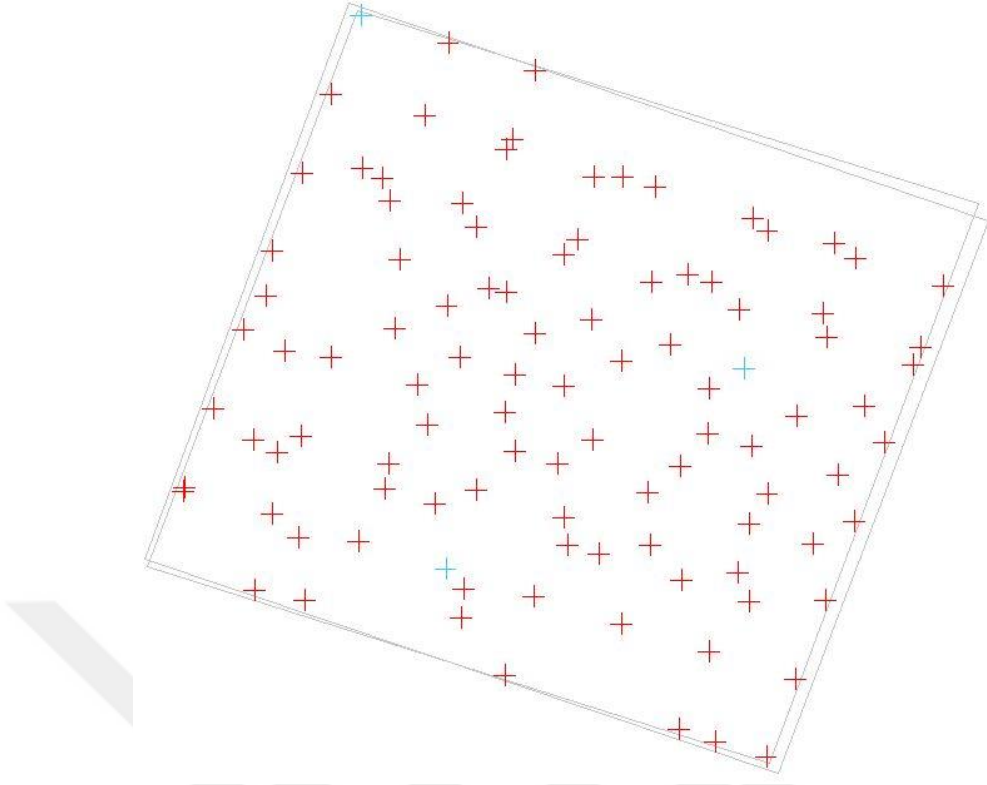
Şekil 4.2. Stereo uydu görüntülerinde SYM üretimi iş akışı



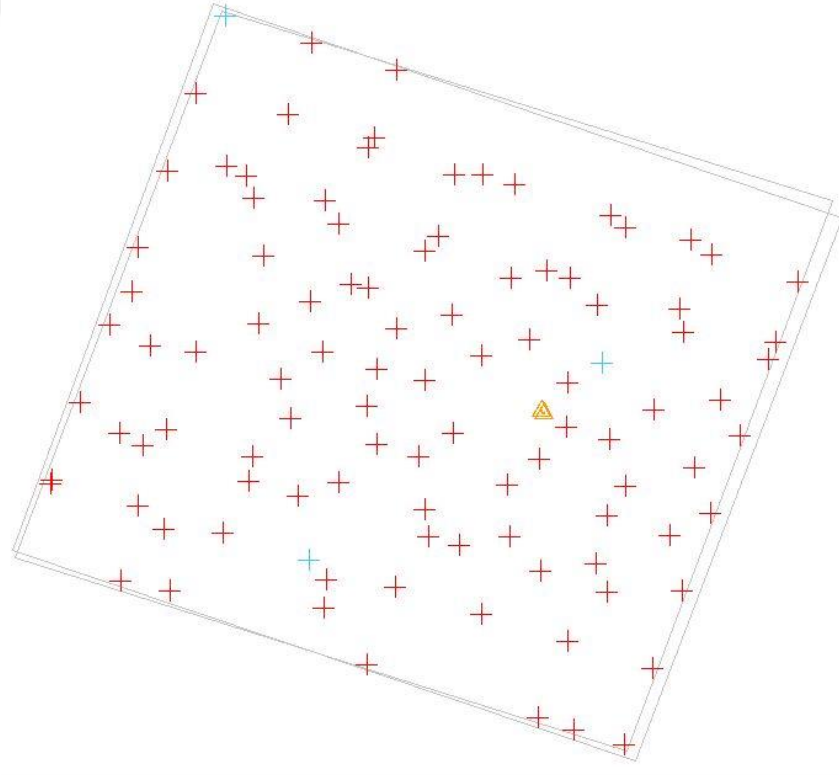
Şekil 4.3. Ankara-1 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (RPC ile üretilen)



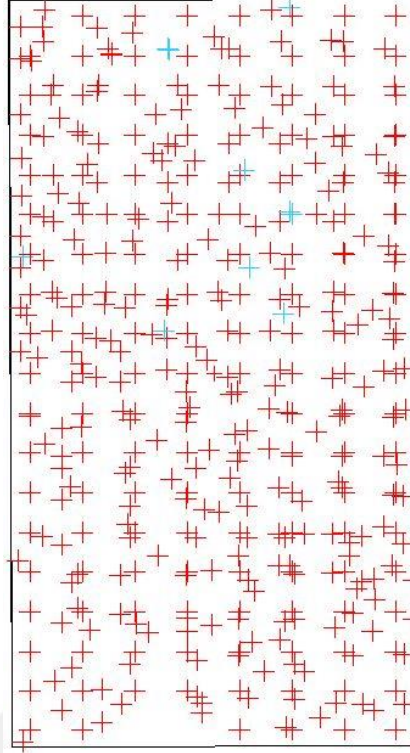
Şekil 4.4. Ankara-1 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (YKN ile üretilen)



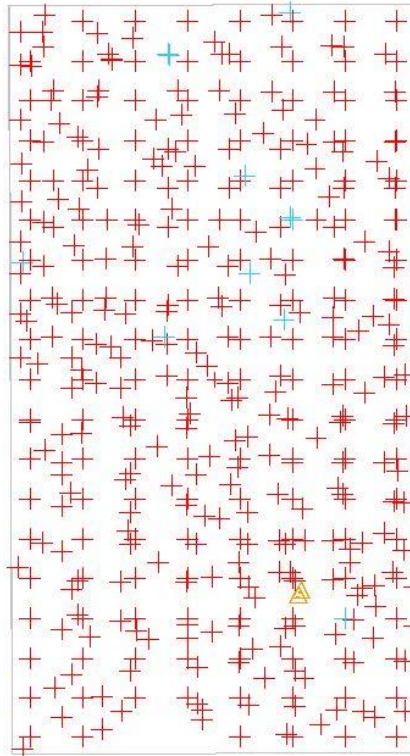
Şekil 4.5. Ankara-2 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (RPC ile üretilen)



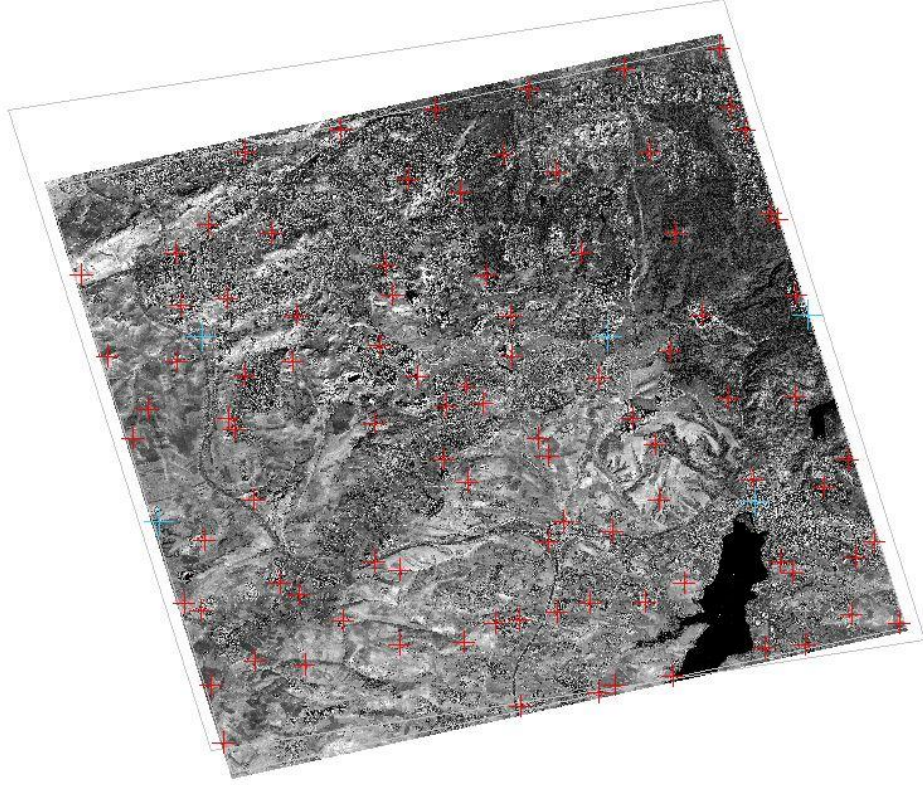
Şekil 4.6. Ankara-2 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (YKN ile üretilen)



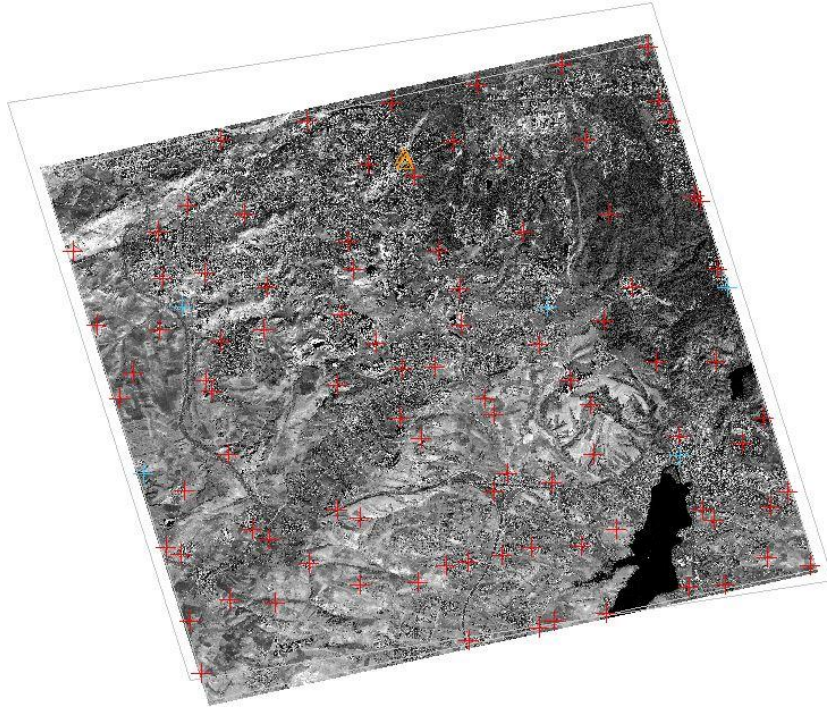
Şekil 4.7. Ankara-3 bölgesini kapsayan stereo Worldview-2 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (RPC ile üretilen)



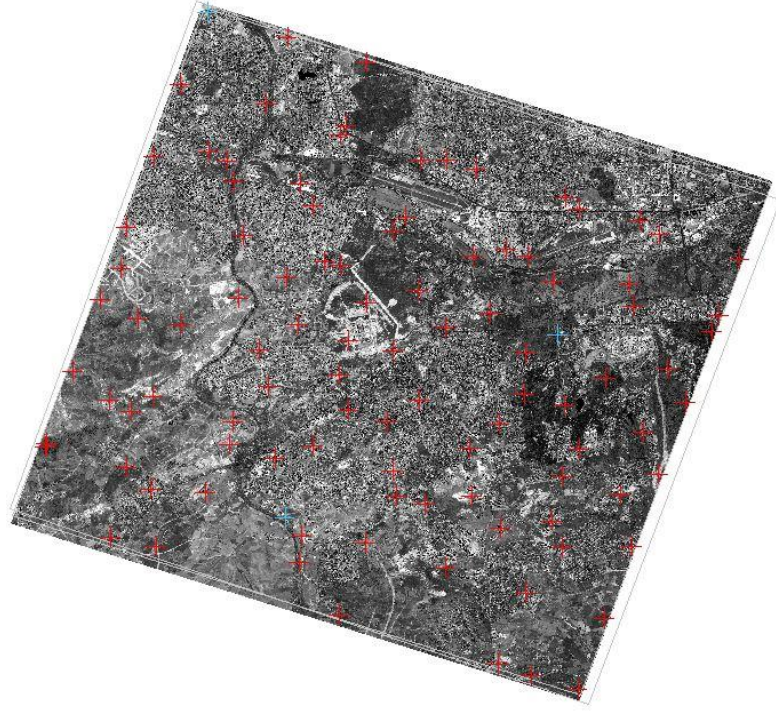
Şekil 4.8. Ankara-3 bölgesini kapsayan stereo Worldview-2 verisinde toplanan bağlama noktalarının şematik gösterimi (YKN ile üretilen)



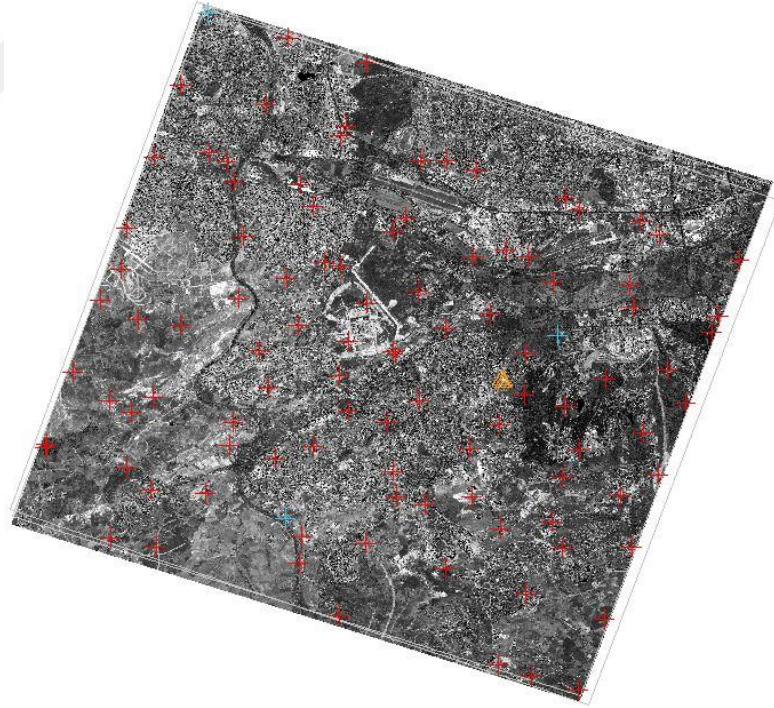
Şekil 4.9. Ankara-1 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (RPC ile üretilen)



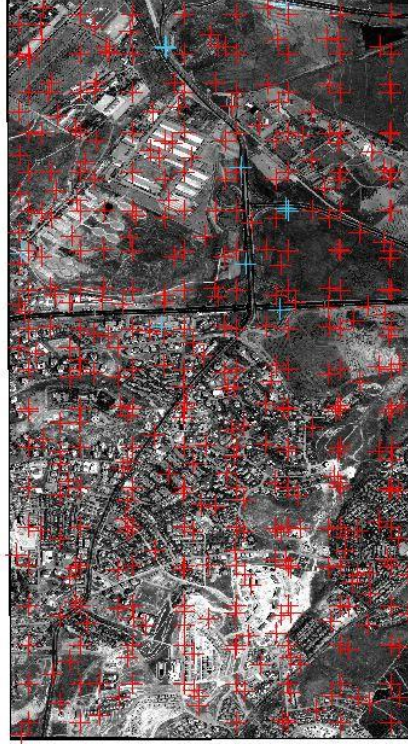
Şekil 4.10. Ankara-1 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (YKN ile üretilen)



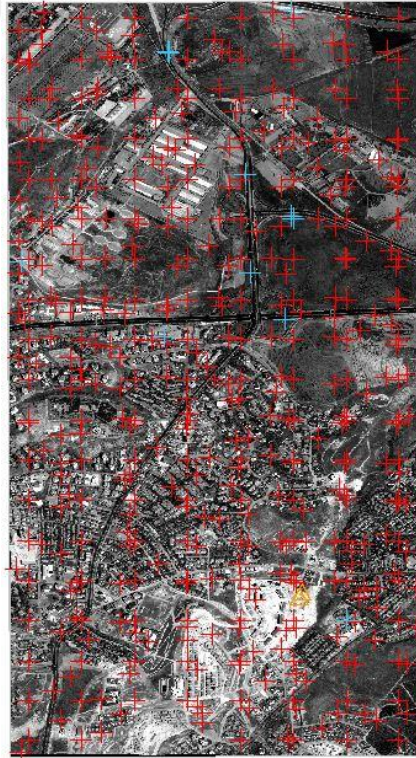
Şekil 4.11. Ankara-2 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (RPC ile üretilen)



Şekil 4.12. Ankara-2 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (YKN ile üretilen)



Şekil 4.13. Ankara-3 bölgesini kapsayan stereo Worldview-2 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (RPC ile üretilen)



Şekil 4.14. Ankara-3 bölgesini kapsayan stereo Worldview-2 görüntülerinde toplanan bağlama noktalarının model üzerinde gösterimi (RPC ile üretilen)

Ankara-1, Ankara-2 ve Ankara-3 bölgelerini kapsayan stereo uydu görüntülerinden oluşturulan model alanlar içerisinde toplanan bağlama noktalarının karesel ortalama hatalarına ilişkin özet tablo aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Ankara-1 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktaları karesel ortalama hataları özet tablosu

RPC	Aktif YKN	-	RMS _x	-	RMS _y	-	RMS _z	-
	Aktif Bağlama Noktası	123	RMS _x	0.110	RMS _y	0.026	RMS _z	0.008
	İnaktif Bağlama Noktası	5	RMS _x	2.299	RMS _y	0.887	RMS _z	-
YKN	Aktif YKN	1	RMS _x	0.195	RMS _y	0.072	RMS _z	0.028
	Aktif Bağlama Noktası	123	RMS _x	0.127	RMS _y	0.030	RMS _z	0.009
	İnaktif Bağlama Noktası	5	RMS _x	2.323	RMS _y	0.896	RMS _z	-

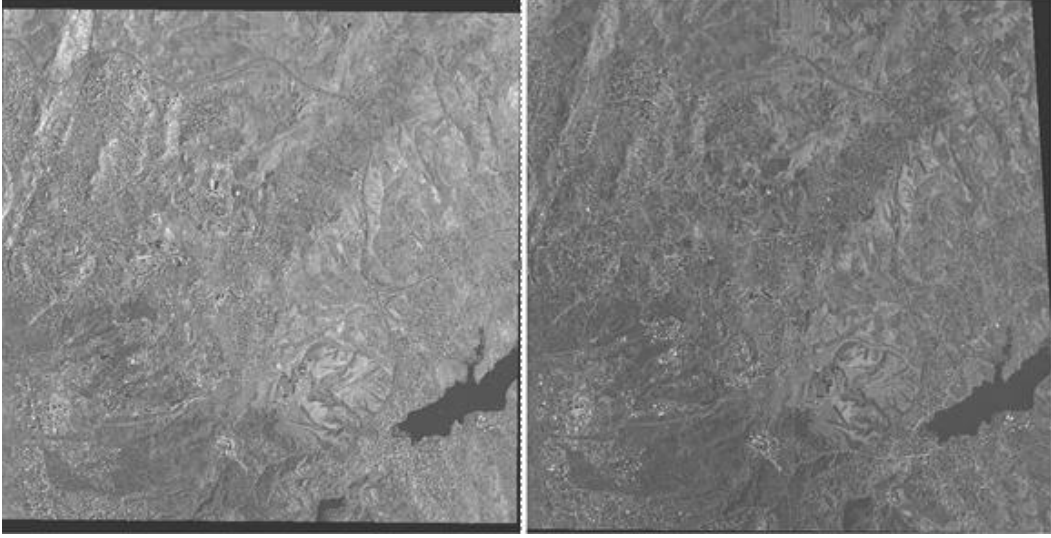
Çizelge 4.5. Ankara-2 bölgesini kapsayan stereo Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktaları karesel ortalama hataları özet tablosu

RPC	Aktif YKN	-	RMS _x	-	RMS _y	-	RMS _z	-
	Aktif Bağlama Noktası	143	RMS _x	0.082	RMS _y	0.021	RMS _z	0.004
	İnaktif Bağlama Noktası	3	RMS _x	12.390	RMS _y	4.760	RMS _z	-
YKN	Aktif YKN	1	RMS _x	0.163	RMS _y	0.017	RMS _z	0.060
	Aktif Bağlama Noktası	143	RMS _x	0.088	RMS _y	0.022	RMS _z	0.005
	İnaktif Bağlama Noktası	3	RMS _x	12.389	RMS _y	4.760	RMS _z	-

Çizelge 4.6. Ankara-3 bölgesini kapsayan stereo Worldview-2 görüntülerinde toplanan bağlama noktaları karesel ortalama hataları özet tablosu

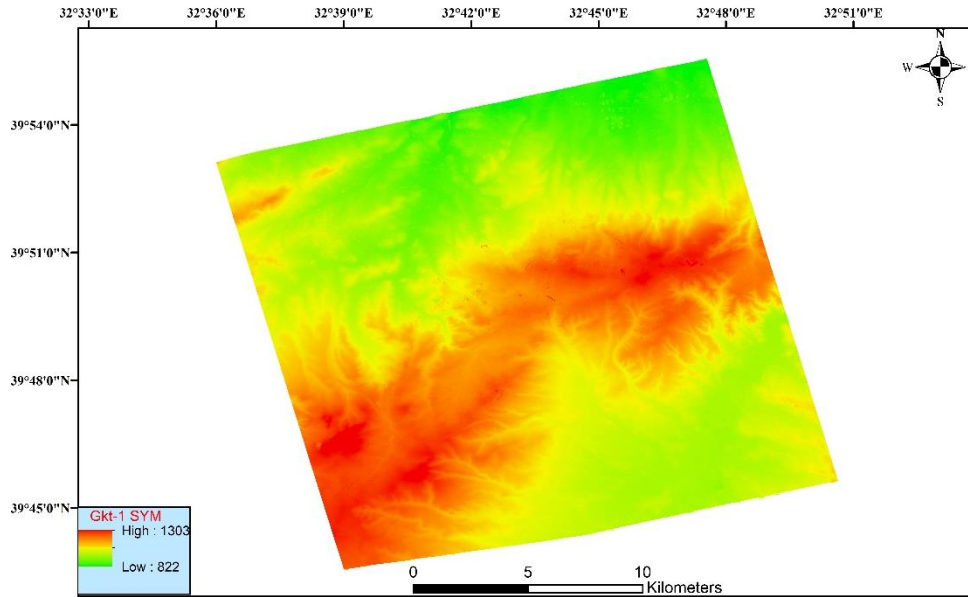
RPC	Aktif YKN	-	RMS _x	-	RMS _y	-	RMS _z	-
	Aktif Bağlama Noktası	589	RMS _x	0.087	RMS _y	0.020	RMS _z	0.011
	İnaktif Bağlama Noktası	12	RMS _x	9.770	RMS _y	4.126	RMS _z	-
YKN	Aktif YKN	1	RMS _x	0.384	RMS _y	0.108	RMS _z	0.080
	Aktif Bağlama Noktası	587	RMS _x	0.081	RMS _y	0.019	RMS _z	0.010
	İnaktif Bağlama Noktası	13	RMS _x	9.390	RMS _y	3.966	RMS _z	-

Oluşturulan model alanlar içerisinde, blok dengelemesi yapıldıktan sonra toplanan bağlama noktalarından ortalama artık hata değerleri yüksek olan noktalar tespit edilip modelden çıkarılmıştır. SYM üretiminde üç boyutlu görüntü elde edilebilmesi için epipolar görüntüler yazılımda üretilmiştir. Paralaksların giderilmesiyle sağ ve sol görüntülerin karşılıklı eşleştirilme işlemleri daha doğru sonuç verecektir.

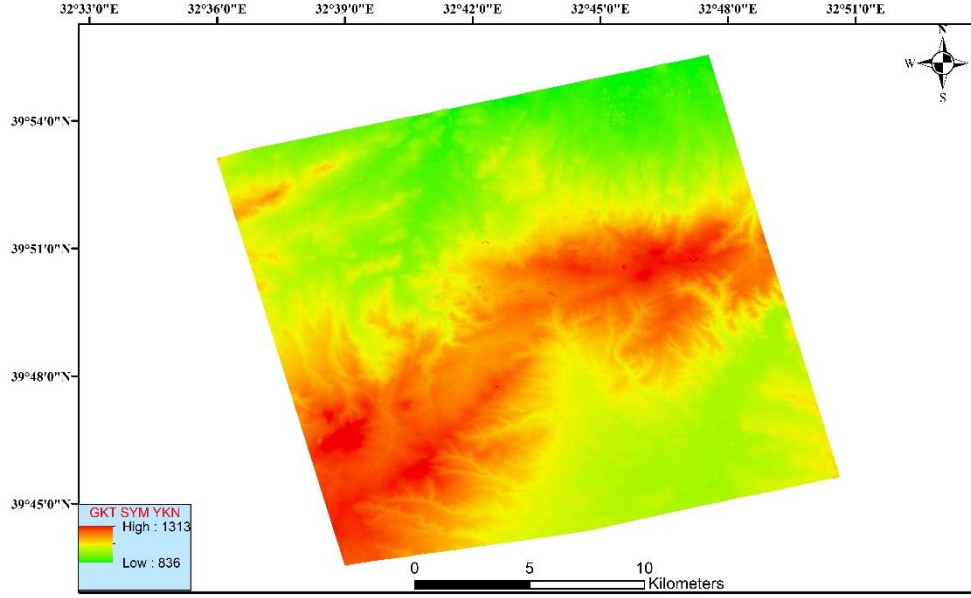


Şekil 4.15. Ankara-1 bölgesini kapsayan Gokturk-1 epipolar görüntü çifti

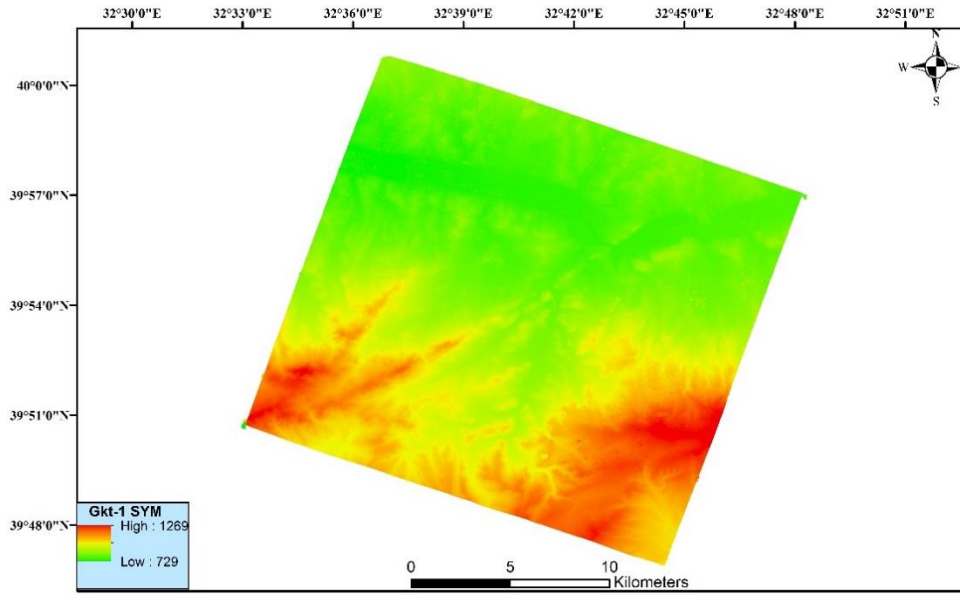
Son olarak elde edilen epipolar görüntüleri PCI Geomatica yazılımında “automatic dem extraction” modülünü kullanarak stereo uydu görüntülerinde SYM üretiminin son aşamasına geçilmiştir. Hem Gokturk-1 hem de Worldview-2 görüntülerinin çözünürlük değeri 0.5m olsa da yazılımın daha kolay ve rahat çalışması, elde edilecek SYM verisinin yüksek boyutlarda olmaması gibi faktörler göz önünde bulundurularak üretilecek SYM verilerinin 2.5m çözünürlükte olmasına karar verilmiştir. Oluşturulacak SYM verisinin üretimi için Semi-Global Matching (SGM) görüntü eşleme yöntemi kullanılmıştır.



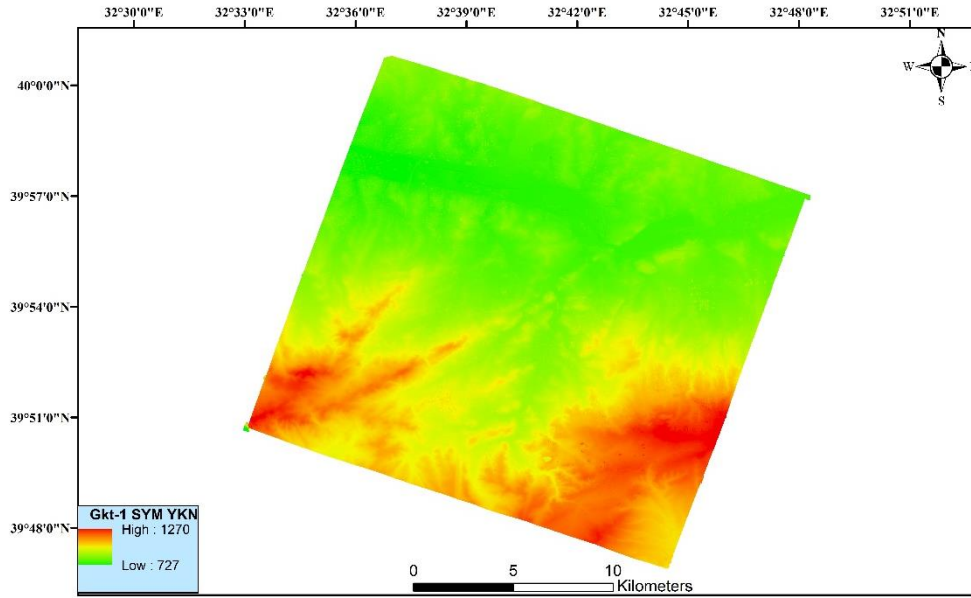
Şekil 4.16. Ankara-1 bölgesinde RPC ile üretilen SYM (Gkt-1 SYM RPC)



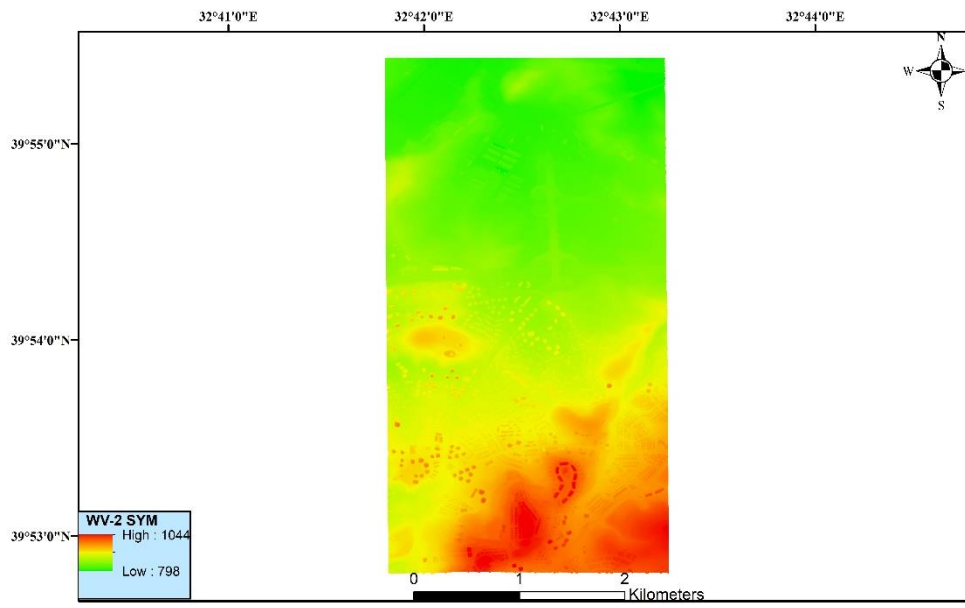
Şekil 4.17. Ankara-1 bölgesinde YKN ile üretilen SYM (Gkt-1 SYM YKN)



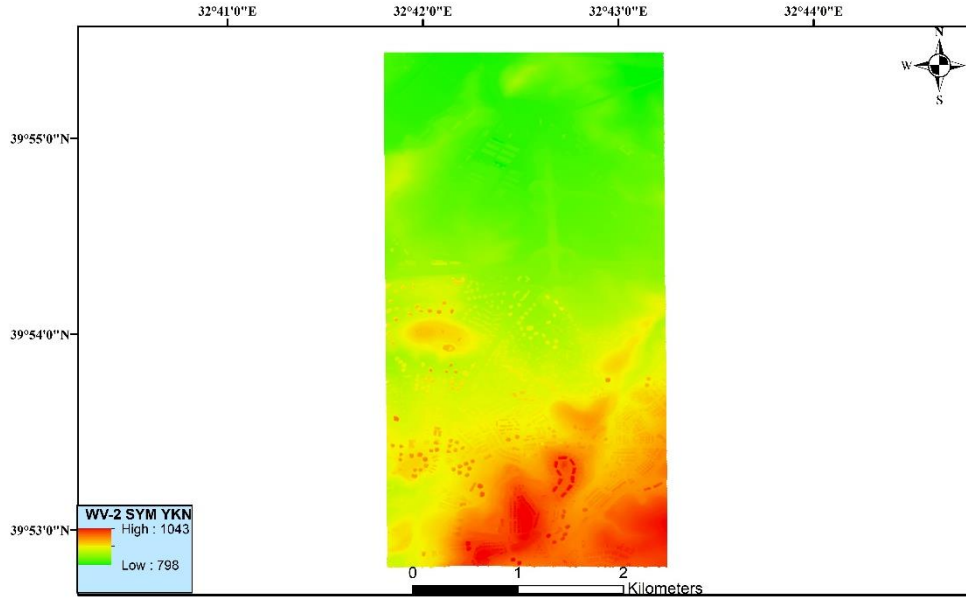
Şekil 4.18. Ankara-2 bölgesinde RPC ile üretilen SYM (Gkt-1 SYM RPC)



Şekil 4.19. Ankara-2 bölgesinde YKN ile üretilen SYM (Gkt-1 SYM YKN)



Şekil 4.20. Ankara-3 bölgesinde RPC ile üretilen SYM (WV-2 SYM RPC)



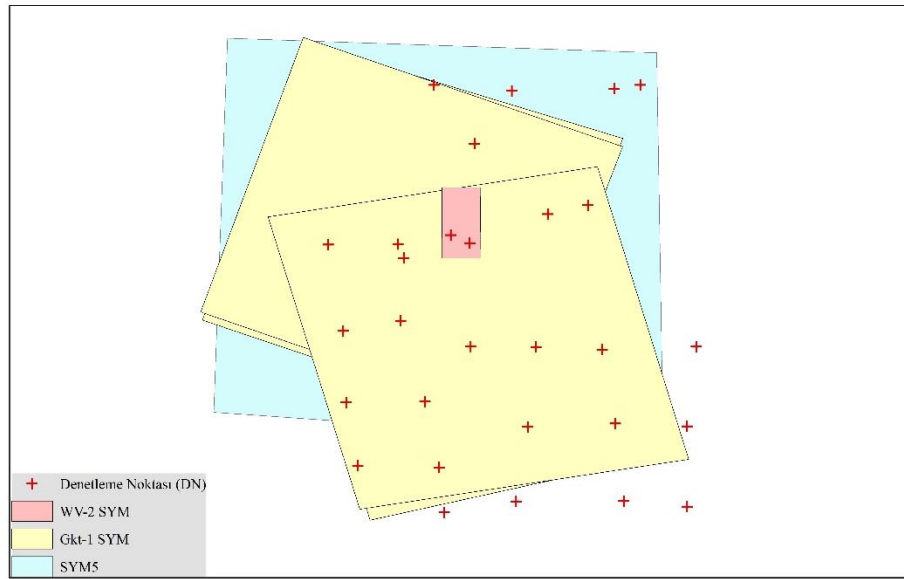
Şekil 4.21. Ankara-3 bölgesinde YKN ile üretilen SYM (WV-2 SYM YKN)

4.3. Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Değerlendirilmesi

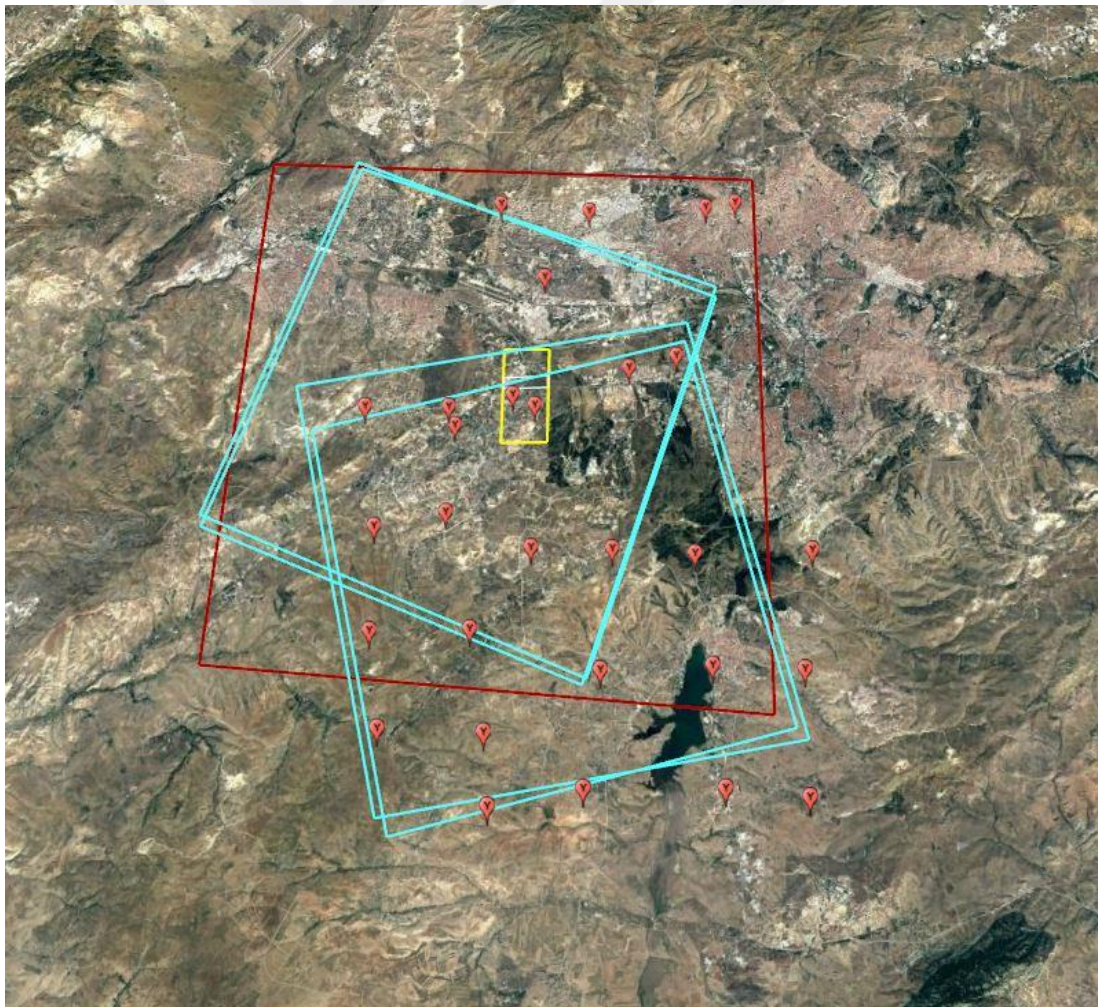
SYM verilerinin düşey analizinin değerlendirilmesi iki farklı veri yardımıyla yapılmıştır. Bu verilerden ilki Ankara ili sınırları içerisinde 25cm düşey doğruluk hassasiyetine sahip YKN verisidir. Göktürk-1 SYM verilerinin noktasal tabanlı düşey doğruluk değerlendirmesinde YKN verileri denetleme noktası (DN) olarak kullanılmıştır. Worldview-2 SYM verisinin kapsama alanında DN sayısı çok fazla olmadığından dolayı sadece Göktürk-1 SYM verisinin düşey analizini yapmak için denetleme noktalarından faydalanılmıştır.

SYM verilerinin düşey analizini gerçekleştirmek için yararlanılan diğer referans veri Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen Sayısal Yüzey Modeli 5m (SYM5) verisidir. SYM5 verisi, stereo hava fotoğraflarından otomatik eşlemeyle üretilmiş, arazi topoğrafyasındaki tüm detayları kapsayan (insan yapımı ve bitki örtüsü dahil), 5 m grid aralıklı ve kaba hatalardan arındırıldıktan sonra %90 güven aralığında (LE90) $\pm 3m$ düşey doğruluğuna sahip yükseklik verisidir (URL-10).

Elde edilen veriler kapsamında, bu tez çalışmasında Worldview-2 SYM ve Göktürk-1 SYM verileri HGM SYM5 verisi referans alınarak düşey doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 4.22. Referans veriler ve üretilen SYM verilerinin kapsamı



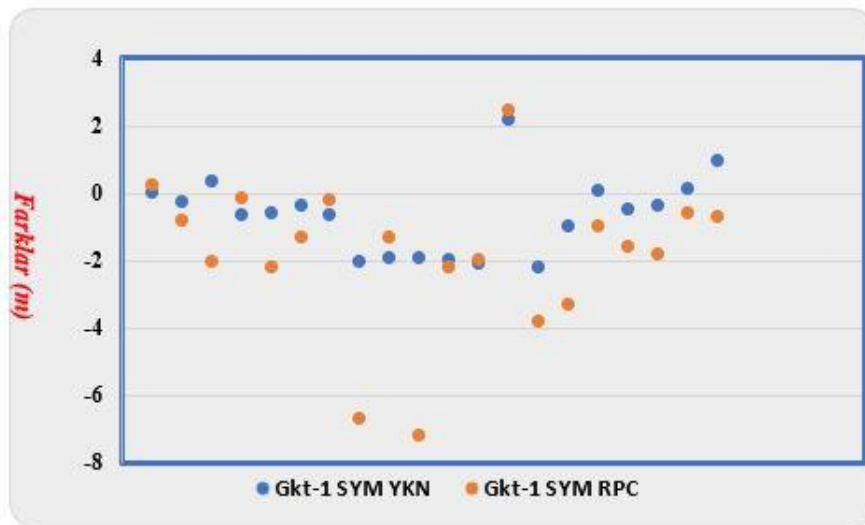
Şekil 4.23. Referans veriler ve üretilen SYM verilerinin Google Earth programında gösterimi

4.3.1. Göktürk-1 SYM verisinin noktasal tabanlı düşey doğruluk analizi

Uygulama alanı içerisinde Ankara-1 ve Ankara-2 bölgelerine ait iki adet stereo Göktürk-1 uydu görüntüsü kullanılarak SYM üretimi yapılmış olup, üretilen SYM verileri Global-Mapper yazılımı yardımıyla birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemi sonucu oluşan SYM verisinin kapsama alanına denk gelen 20 adet DN ile düşey doğruluk analizi yapılmıştır. SYM verileri üretilirken, RPC ile üretilen SYM verileri ve 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verileri olmak üzere iki farklı yöntemle üretilmiştir. Bu kapsamda stereo Göktürk-1 uydu görüntülerinden RPC ile üretilen SYM verileri Gkt-1 SYM RPC olarak isimlendirilirken, 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verileri ise Gkt-1 SYM YKN olarak isimlendirilmiştir. NSSDA'nın belirlediği standartlara göre, kapsama alanı 500 km²'den küçük olan uygulamalarda, analiz için en az 20 adet kontrol noktasının kullanılması yeterli görülmüştür. Çizelge 4.7'de üretilen Göktürk-1 SYM verilerinin noktasal tabanlı düşey doğruluk analizine ilişkin istatistik bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 4.7. Göktürk-1 SYM verilerinin DN ile analizi

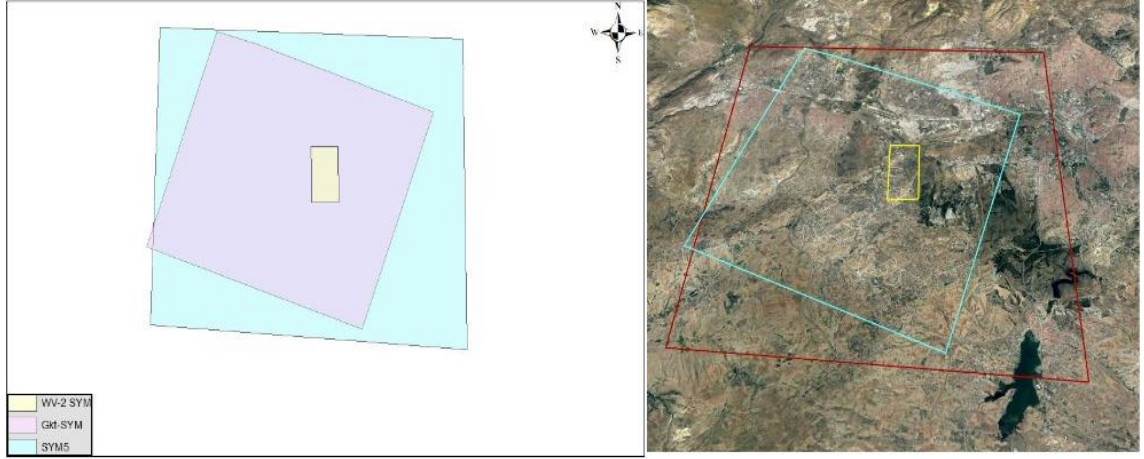
Değerler (m)	Gkt-1 SYM RPC	Gkt-1 SYM YKN
Maks	2.45	2.18
Min	-7.20	-2.21
Med	-1.44	-0.54
Ort	-1.80	-0.63
Std	2.87	1.31
KOH	2.80	1.28
LE90	4,62	2,11
LE95	5.48	2.51



Şekil 4.24. Göktürk-1 SYM verileri ile referans veri (DN) arasındaki düşey farklar

4.3.2. Göktürk-1 ve Worldview-2 uydu görüntülerinden üretilen SYM verilerinin SYM5 verisi ile analizi

Uygulama alanı içerisinde, Ankara-2 bölgesini kapsayan Göktürk-1 SYM verisi ile Ankara-3 bölgesini kapsayan Worldview-2 SYM verisi HGM' den temin edilen SYM5 verisi referans alınarak analiz edilmiştir. RPC ile üretilen SYM verileri; Gkt-1 SYM RPC ve WV-2 SYM RPC olarak isimlendirilirken, 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verileri ise Gkt-1 SYM YKN ve WV-2 SYM YKN olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4.25. Düşey analiz uygulaması yapılacak verilerin kapsama alanları

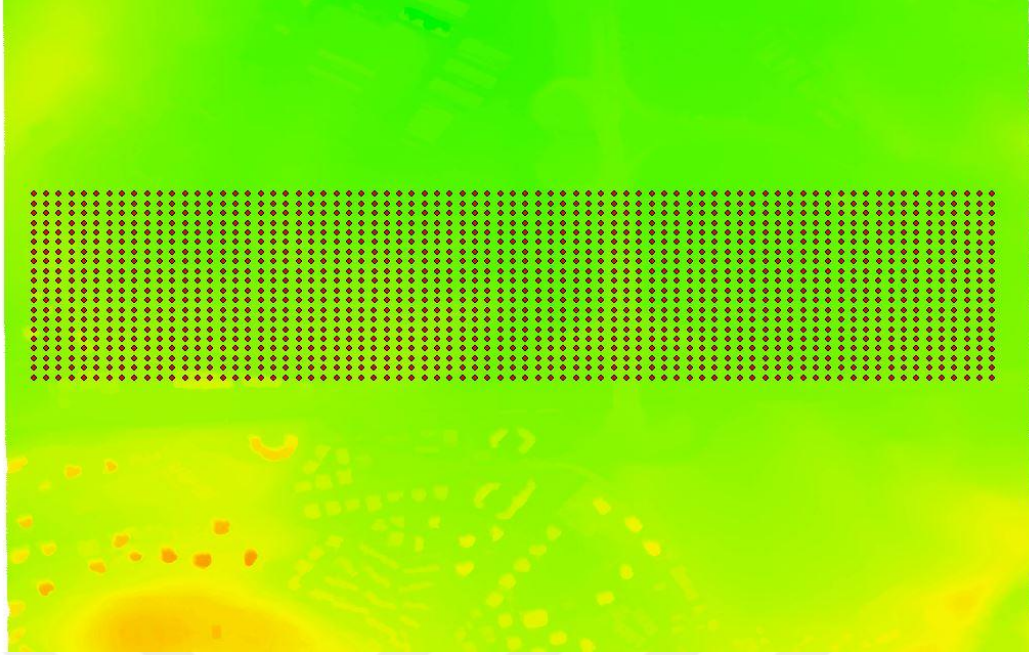
Ankara-2 bölgesini kapsayan Göktürk-1 görüntüsü 2018 yılında çekimi yapılmışken, Ankara-3 bölgesini kapsayan Worldview-2 görüntüsünün ise 2015 yılında çekimi yapılmıştır. Ankara yapılaşma hızının yüksek olduğu şehirlerden olup yıllar içerisinde topoğrafyada değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimden dolayı üretilen SYM verilerinin düşey analizi yapılırken görüntülerin çekim tarihleri arasındaki zaman farkı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda Google Earth (GE) programında yer alan zaman kaydırıcısının yardımıyla, iki görüntü üzerinde topoğrafyadaki değişimin olabildiğince az olabileceği bölge belirlenmiş olup, bu bölgede SYM verilerinin analizi yapılmıştır.

SYM verilerinin düşey analizi için belirlenen bölge, Ankara ilinin batısında Eskişehir yolu olarak tanımlanan güzergahta yer almaktadır. Belirlenen bölge içerisinde 2015-2018 yılları arasında topoğrafyada meydana gelen değişimin çok az olması, SYM analizinin uygunluğu bakımından büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4.26. Düşey analiz uygulaması yapılacak bölgenin yıllara göre gösterimi

SYM verilerinde düşey analiz uygulaması yapmak için belirlenen bölge 475m x 1905m boyutlarında belirlenmiştir. Üretilen SYM verilerinin analizini yapmak için, referans SYM olan HGM SYM5 verisi ile üretilen SYM verileri üzerinde seçilen ortak noktalara ait yükseklik değerleri karşılaştırılarak sapmalar tespit edilmiştir. Bu kapsamda SYM analizi için belirlenen bölgede 1540 noktadan yükseklik değerleri okunarak Göktürk-1 SYM ve Worldview-2 SYM verilerinin yüzey analizinin düşey doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır.

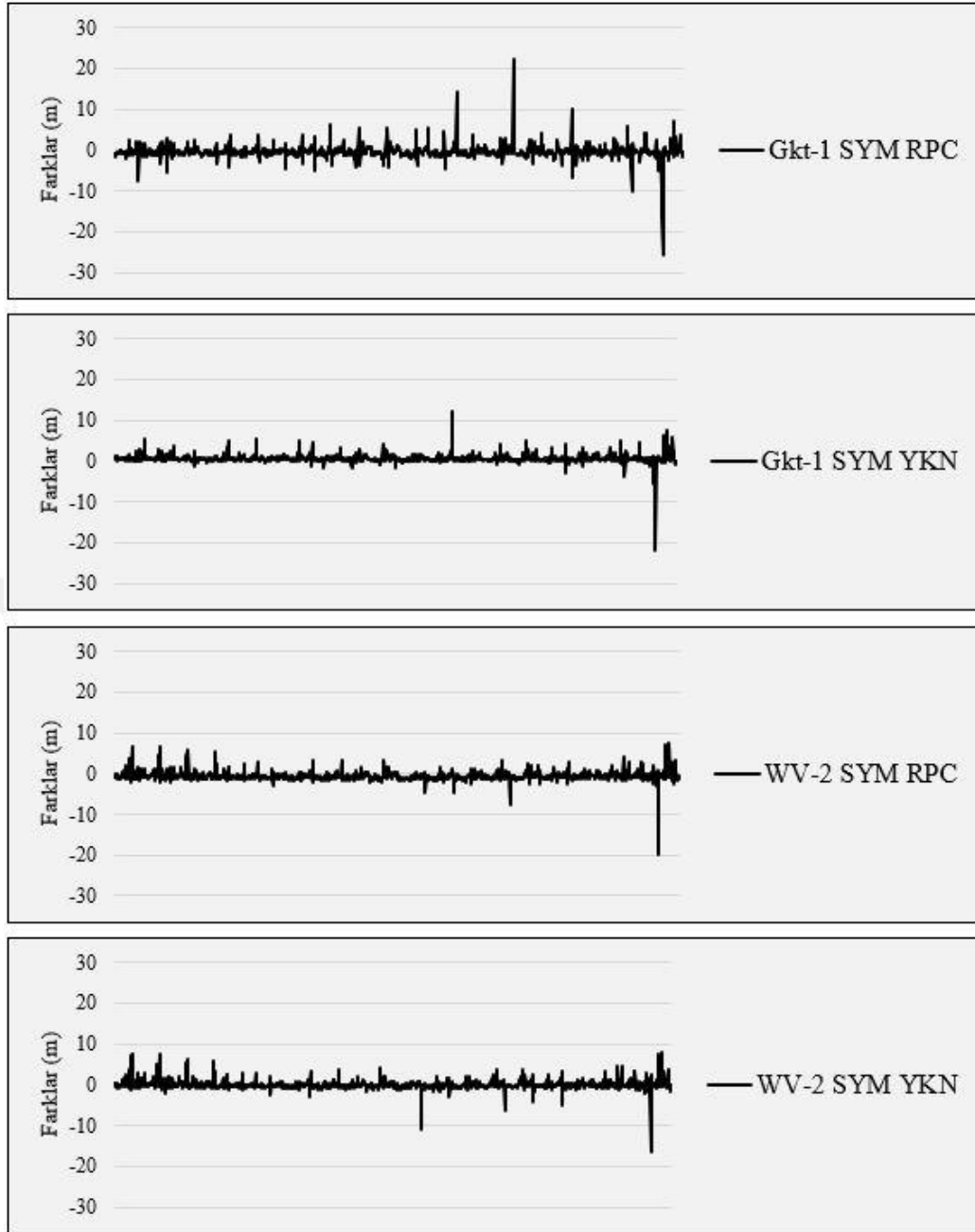


Şekil 4.27. Düşey analiz uygulaması için belirlenen noktalar (1540 adet)

HGM'den temin edilen HGM SYM5 yükseklik verisi referans alınarak 1540 noktadan okunan yükseklik değerlerinden elde edilen istatistiki bilgiler Çizelge 4.8'de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Göktürk-1 SYM ve Worldview-2 SYM verilerinin HGM SYM5 verisi ile analizi

Değerler (m)	Göktürk-1		Worldview-2	
	RPC	YKN	RPC	YKN
Maks	22,40	12,07	7,55	8,02
Min	-25,78	-22,05	-19,89	-16,51
Med	-0,58	0,45	-0,80	-0,18
Ort	-0,51	0,55	-0,65	-0,04
Std	1,69	1,21	1,37	1,17
KOH	1,69	1,21	1,37	1,17



Şekil 4.28. Üretilen SYM verilerin HGM SYM5 verisine göre noktasal yükseklik farkları dağılımı

Şekil 4.28’de gösterilen grafikler incelendiğinde üretilen SYM verilerinin referans veriye en yakın konumlanan değerler, WV-2 SYM YKN ve Gkt-1 SYM YKN verilerinden okunan değerler olarak gözlenmektedir. YKN kullanmadan üretilen SYM verileri analiz edildiğinde, WV-2 SYM verisinin doğruluk değerleri Gkt-1 SYM verisine göre daha iyi çıktığı analiz edilmiştir.

Yapılan ölçümlerden tutarsız ölçüler üç sigma testi ile tespit edilip hesaplamalardan çıkarıldıktan sonra hem Çizelge 4.8’de gösterilen değerlerde istatistiksel

olarak iyileşme olacak hem de Şekil 4.28’de grafikte gösterilen değerlerin 0 noktasına göre konumlanmasında olumlu yönde etki edecektir.

4.3.3. Uyuşumsuz ölçülerin tespiti

Üretilen SYM verileri, rastgele seçilmiş 1540 noktadan yükseklik değerleri okunarak analiz edilmiştir. Analiz verilerinin daha sağlıklı sonuç vermesi için tutarsız ölçü olarak kabul edilen değerler üç sigma testi ile belirlenip hesaplamalardan çıkarılarak yeni istatistik bilgileri elde edilmiştir. Aşağıda gösterilen çizelgelerde tespit edilen tutarsız ölçüler yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Gkt-1 SYM RPC tutarsız ölçüleri (20 adet)

K.N.	Yükseklik Farkları	K.N.	Yükseklik Farkları
1513	7.179	1479	-8.553
1388	6.013	816	5.009
1482	-16.162	662	5.435
1483	-25.778	585	6.145
1079	22.401	1480	-12.204
1238	-6.850	893	4.594
1237	10.033	739	5.304
848	5.591	66	-7.535
926	14.419	1484	-5.737
1400	-10.266	1401	-7.503

Çizelge 4.10. Gkt-1 SYM YKN tutarsız ölçüleri (19 adet)

K.N.	Yükseklik Farkları	K.N.	Yükseklik Farkları
1513	7,415	1530	5,820
1388	5,148	1129	5,026
1482	-14,767	543	4,459
1483	-22,048	736	4,105
1238	4,187	391	5,242
1237	-3,171	85	5,218
926	12,073	313	5,055
1479	-5,669	508	4,846
1504	6,436	1439	4,534
1399	-3,963		

Çizelge 4.11. WV-2 SYM RPC tutarsız ölçüleri (19 adet)

K.N.	Yükseklik Farkları	K.N.	Yükseklik Farkları
1513	7,552	198	4.071
1388	4,063	120	4.343
1482	-19,889	45	3.811
1483	-19,573	49	6.463
1504	6,896	203	5.817
1079	-7,497	121	3.963
620	3,356	122	4.506
276	5,350	126	6.603
199	5,193	50	6.831
42	3,753		

Çizelge 4.12. WV-2 SYM YKN tutarsız ölçüleri (32 adet)

K.N.	Yükseklik Farkları	K.N.	Yükseklik Farkları
1513	8.015	49	7.287
1388	4.772	203	6.431
1482	-16.510	121	4.380
1483	-14.428	122	4.844
1079	-6.189	126	7.654
1238	3.425	50	7.475
1237	-5.033	1530	3.540
848	-10.809	1129	3.929
1504	7,323	543	3.421
620	3.544	736	4.005
276	5.795	1058	3.715
199	5.794	1403	3.342
42	3.717	1402	4.525
198	4.545	280	3.419
120	4.911	1156	-4.333
45	3.613	1436	3.490

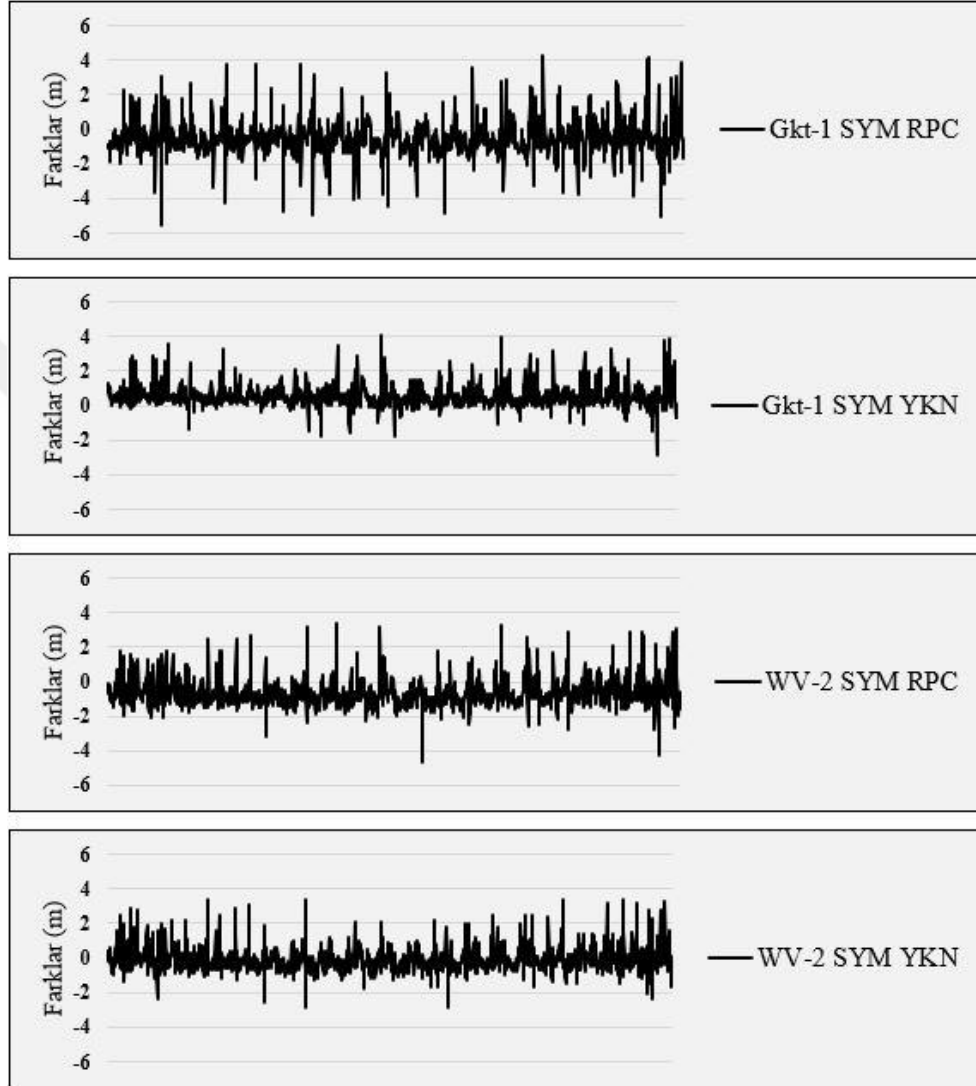
Tutarsız ölçüler üç sigma testi ile tespit edilip çıkarıldıktan sonra üretilen SYM verilerine ilişkin yeni istatistikî değerler hesaplanarak Çizelge 4.13’de bu değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Tutarsız ölçüler çıkarıldıktan sonra Göktürk-1 SYM ve Worldview-2 SYM verilerinin HGM SYM5 verisi ile analizi

Değerler (m)	Göktürk-1		Worldview-2	
	RPC	YKN	RPC	YKN
Ölçü sayısı	1520	1521	1521	1508
Maks	4,24	4,01	3,25	3,25
Min	-5,50	-2,89	-4,77	-2,91
Med	-0,58	0,45	-0,80	-0,19
Ort	-0,52	0,53	-0,68	-0,08
Std	1,11	0,80	1,03	0,70
KOH	1,11	0,80	1,03	0,70

Yapılan analizlerde referans veri olarak kullanılan HGM SYM5 yükseklik verisinin %90 güven aralığında (LE90) $\pm 3m$ düşey doğruluğa sahip olduğu göz önünde

bulundurulmuştur. Çizelge 4.13’de gösterilen değerler incelendiğinde iki farklı uydu platformundan üretilen SYM verilerinde birbirine çok yakın KOH değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Diğer taraftan YKN kullanarak üretilen SYM verilerin doğruluklarında belirgin şekilde iyileşme olduğu görülmektedir.



Şekil 4.29. Uyuşumsuz ölçüler çıkarıldıktan sonra üretilen SYM verilerin HGM SYM5 verisine göre noktasal yükseklik farkları dağılımı

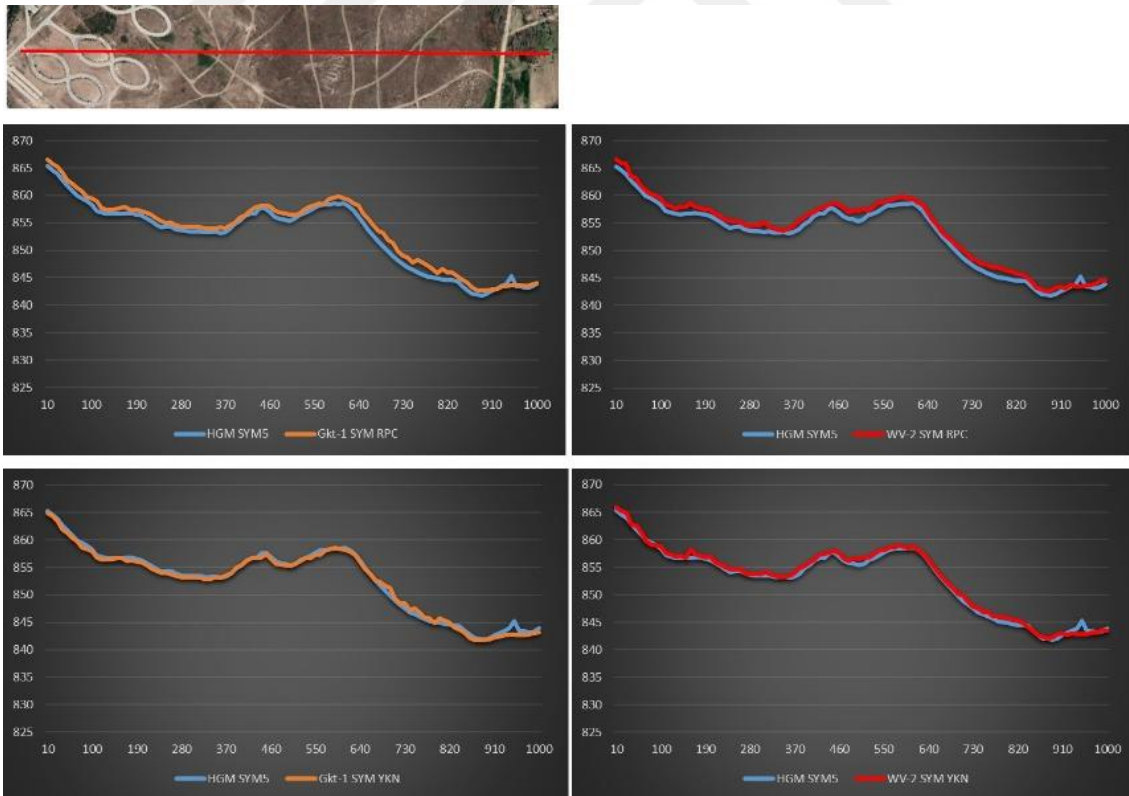
Göktürk-1 ve Worldview-2 SYM verilerinin farklı arazi tiplerine göre doğruluk değerlerinin araştırılması için HGM SYM5 yükseklik verisinden kontrol noktaları belirlenmiştir. Bu kapsamda ormanlık alan, yerleşim alanı, yol, çıplak arazi örtüsü ve tepelik alan olmak üzere 5 farklı arazi sınıfı belirlenerek KOH değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Farklı arazi sınıflarının HGM SYM5 verisine göre KOH değerleri (m)

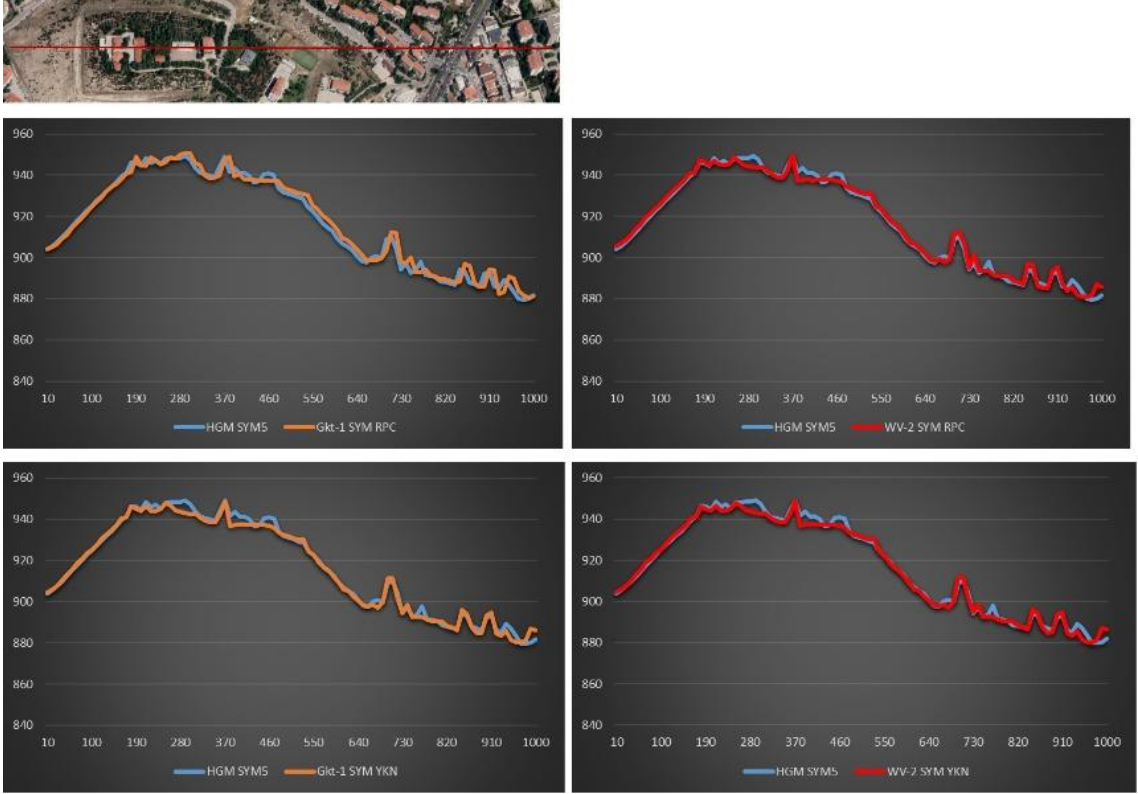
Yükseklik Verisi	Orman	Yol	Yerleşim Bölgesi	Tepelik Alan	Çıplak Arazi
Gkt-1 SYM RPC	4.49	1.52	4.43	4.54	1.69
Gkt-1 SYM YKN	3.09	1.45	2.85	3.53	1.21
WV-2 SYM RPC	3.04	1.33	2.62	2.73	1.37
WV-2 SYM YKN	2.95	1.32	2.49	2.58	1.17

Çizelge 4.14’de gösterilen KOH değerleri analiz edildiğinde, yerleşim yeri ve tepelik alanlarda WV-2 SYM YKN verisi referans veriye daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Ormanlık alan, yol ve çıplak arazi örtüsündeki SYM verilerine bakıldığında Göktürk-1 ve Worldview-2 SYM verilerinin birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlenmiştir.

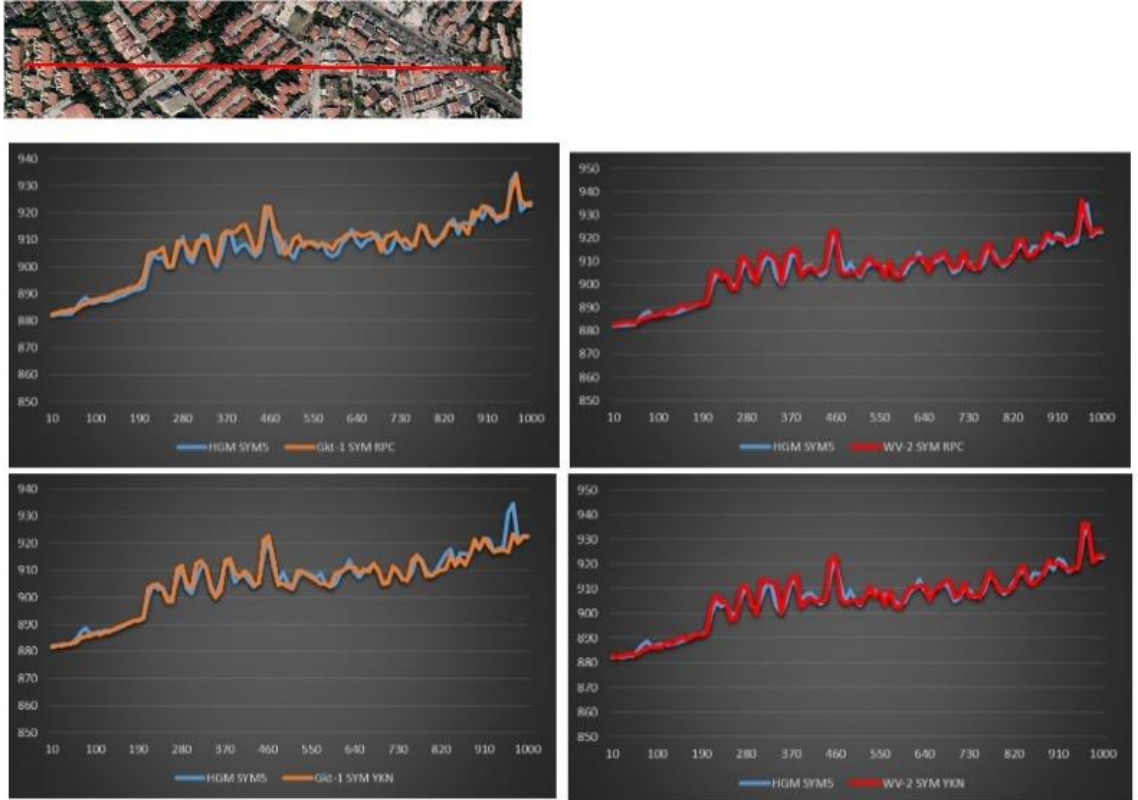
Aşağıdaki şekillerde yerleşim yeri, çıplak arazi örtüsü ve tepelik alanlar bulunan bölgeler üzerinde bir güzergâh belirlenerek topoğrafya profili çıkarılmıştır. Göktürk-1 ve Worldview-2 uydu görüntülerinden üretilen SYM verileri ile HGM SYM5 verisi birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Göktürk-1 ve Worldview-2 SYM verilerinin arazi yüzey profili gösterimi (0-1000m)

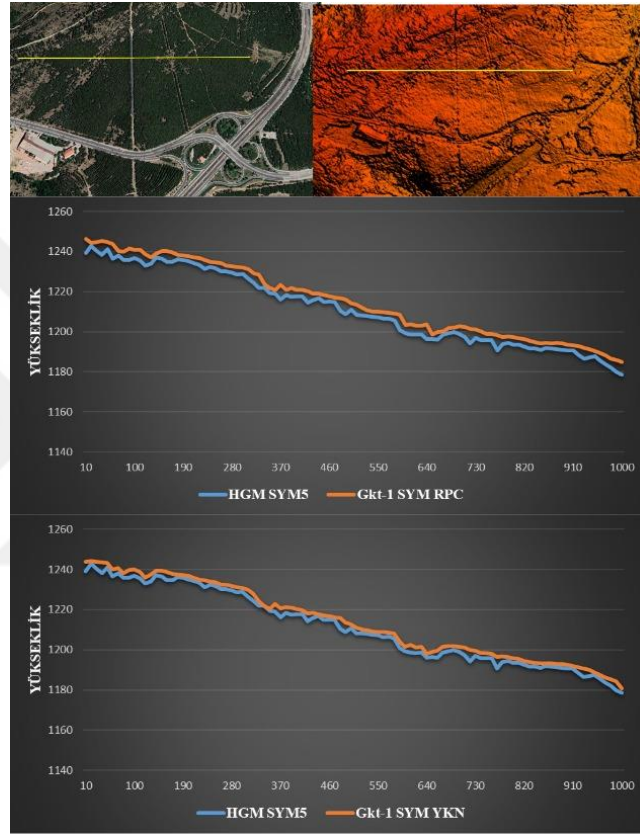


Şekil 4.31. Göktürk-1 ve Worldview-2 SYM verilerinin tepelik alan yüzey profili gösterimi (0-1000m)

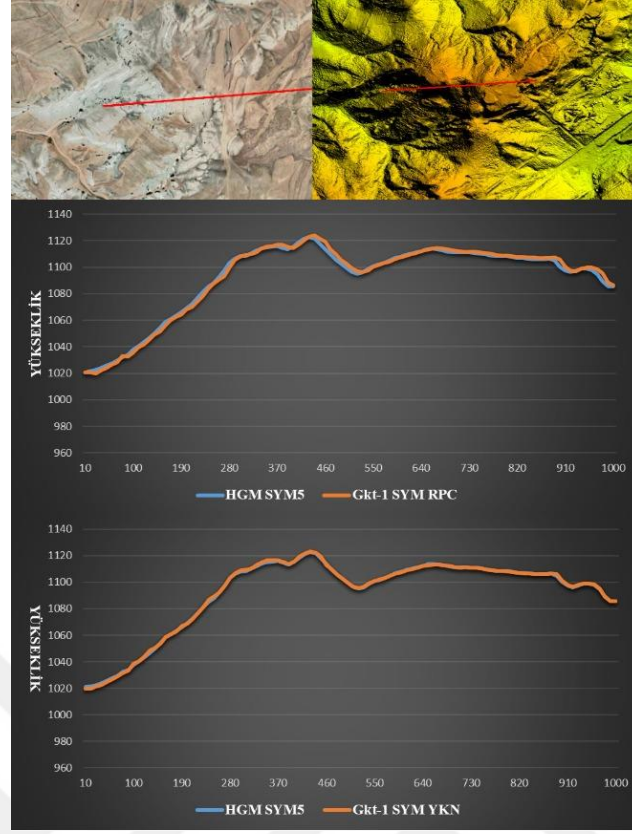


Şekil 4.32. Göktürk-1 ve Worldview-2 SYM verilerinin yerleşim yeri yüzey profili gösterimi (0-1000m)

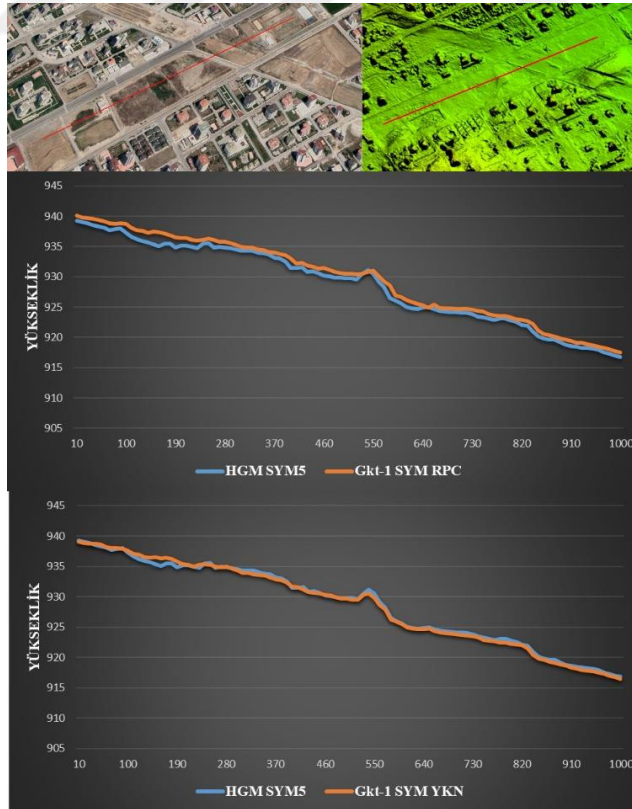
Göktürk-1 SYM verileri ile HGM SYM5 verisinin farklı arazi sınıflarına göre profilleri çıkarılmış olup aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Görsellerde yer alan veriler incelendiğinde topoğrafya üzerinde değişimin çok az olduğu bölgelerde Göktürk-1 SYM YKN verisinin referans HGM SYM5 verisi ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmektedir. Elde edilen veriler kapsamında; Göktürk-1 SYM verisi ormanlık bölge, çıplak arazi ve topoğrafyasında değişiklik meydana gelmeyen tepelik alanlarda başarılı sonuçlar verdiğini gözlenmiştir.



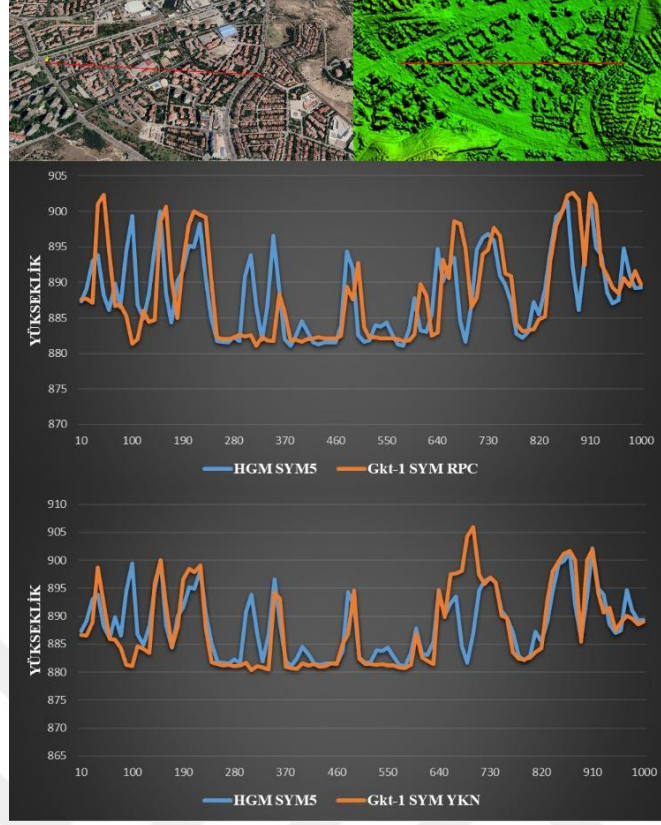
Şekil 4.33. Ormanlık bölgede Gkt-1 SYM ve HGM SYM5 yüzey profili gösterimi (0-1000m)



Şekil 4.34. Tepelik alanda Gkt-1 SYM ve HGM SYM5 yüzey profili gösterimi (0-1000m)



Şekil 4.35. Çıplak arazide Gkt-1 SYM ve HGM SYM5 yüzey profili gösterimi (0-1000m)



Şekil 4.36. Yerleşim bölgesinde Gkt-1 SYM ve HGM SYM5 yüzey profili gösterimi (0-1000m)

4.4. Tartışma

Uydu görüntülerinden elde edilen veriler üzerinde birbirinden farklı konumsal doğruluk araştırması yapılabilmektedir. Gültekin ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışma ile Arasan ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmalar incelendiğinde, Göktürk-1 görüntülerinin konumsal doğruluğunun noktasal tabanlı incelendiği görülmüştür. Tez çalışmasında elde edilen bulgulara bakıldığında; Göktürk-1 SYM verilerinin noktasal tabanlı düşey analiz değerlendirmesi literatürde var olan çalışmalarla benzer sonuçlar verildiği görülmüştür. Göktürk-1 SYM verilerinde yüzey analizine dayalı doğruluk değerlendirmesi farklı arazi türlerine göre yapılarak detaylı bir analiz çalışması yapılmıştır. Kategorize edilen arazi sınıfları incelendiğinde, yükseklik farklarının çok değişmediği arazi örtülerinde düşey konumsal doğruluğun diğer sınıflara göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında Göktürk-1 SYM verilerinin yüzey analizine dayalı doğruluk değerlendirmesi literatürde var olan çalışmalardaki boşluğu dolduracaktır.

Diğer taraftan tez çalışmasında Ankara-1 ve Ankara-2 bölgelerine düşen Göktürk-1 görüntülerinde toplanan bağlama noktaları sayıları sırasıyla 123 ve 143 iken, Ankara-3 bölgesine düşen 10 km² kapsama alanına sahip Worldview-2 görüntülerinde toplanan bağlama noktası sayısı 589 adettir. Üretilen SYM verileri incelendiğinde KOH değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu kapsamda tez çalışmasındaki uygulamaya bakıldığında bağlama noktalarının sayısının fazla olması, üretilen SYM verilerinin düşey konumsal doğruluğuna etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Ankara ili sınırları içerisinde kalan bölgeyi kapsayan stereo Göktürk-1 ve Worldview-2 uydu görüntüleri temin edilmiştir. Temin edilen uydu görüntülerinden SYM verileri üretilerek farklı referans verilerle doğruluk araştırması yapılmıştır.

Stereo uydu görüntülerinden iki farklı yöntem ile SYM verisi üretilmiştir. Bu yöntemlerden birincisinde sadece algılayıcı bağımlı RPC parametrelerine göre SYM verisi üretilirken, diğer yöntemde ise 1 adet YKN kullanılarak SYM verileri üretilmiştir. SYM verisi üretilirken, Fast Fourier Transform Phase Matching (FFTP) ile Normalized Cross Correlation (NCC) metodu olmak üzere iki adet görüntü eşleme algoritması kullanılmıştır.

Temin edilen stereo Göktürk-1 uydu görüntülerinin noktasal tabanlı düşey doğruluk değerlendirmesinde 25cm konum doğruluk hassasiyetine sahip 20 adet denetleme noktası kullanılmıştır. Göktürk-1 uydu görüntülerinde RPC ile üretilen SYM verilerinin analizinde; KOH değeri 2.80m, standart sapması 2.87m olurken %95 güven aralığında düşey doğruluk (LE95) 5.48m olarak hesaplanmıştır. Göktürk-1 uydu görüntülerinde 1 adet YKN kullanılarak üretilen SYM verilerinin analizinde; KOH değeri 1.28m, standart sapması 1.31m iken %95 güven aralığında doğruluk (LE95) 2.51m olarak hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında üretilen Göktürk-1 SYM verileri ISPRS'in sayısal yükseklik verisi düşey doğruluk sınıflarına göre değerlendirildiğinde, üretilen SYM verilerinin (Gkt-1 SYM RPC, Gkt-1 SYM YKN) hiyerarşide X. sırada olduğu analiz edilmiştir.

Ankara-3 kapsama alanına sahip 2015 yılında çekimi yapılmış olan stereo Worldview-2 uydu görüntüsüyle Ankara-2 kapsama alanına sahip 2018 yılında çekimi yapılmış stereo Göktürk-1 uydu görüntüsü, HGM'den temin edilen 5m grid aralıklı %90 güven aralığında (LE90) $\pm 3m$ düşey konum doğruluğuna sahip olan HGM SYM5 verisi referans alınarak analiz edilmiştir. Görüntüler arasındaki zaman farklı dikkate alınarak, iki görüntüde de topoğrafyanın çok az değiştiği bir bölge GE programı yardımıyla belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu doğruluk analizine ek olarak farklı arazi sınıfları üzerinde de üretilen SYM verilerinin doğruluk araştırması yapılmıştır. Yapılan doğruluk değerlendirmesinde; hem algılayıcı bağımlı RPC parametrelerine göre üretilen SYM

verilerinde hem de YKN verisi kullanılarak üretilen SYM verilerinde Wordview-2 ve Göktürk-1 SYM verilerinin düşey konumsal doğruluğu birbirlerine yakın çıktığı analiz edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, 1 adet YKN kullanılarak yöneltme parametrelerinin iyileştirilmesi durumunda elde edilen SYM verilerinin düşey konum doğruluğunun RPC kullanılarak üretilen SYM verilerine göre daha yüksek çıkması bulunan sonuçların literatür ile uyumlu olduğu göstermektedir.

Yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip, Göktürk-1 ve Worldview-2 görüntüleri ile ilgili düşey doğruluk değerlendirmeleri üzerine yapılan farklı çalışmalar mevcut olup, aynı bölge üzerinde daha önce bu iki uydu görüntüsüne ait SYM analizinin yapılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında, Göktürk-1 ve Worldview-2 uydularına ait ortak kapsama alanı olan görüntüler temin edilerek düşey doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır.

Yapılan araştırmalara göre bu tez çalışması Göktürk-1 uydu görüntüleriyle Worldview-2 uydu görüntülerine ait SYM verilerinin bir arada değerlendirildiği ilk çalışma olarak literatüre katkı sağlayacaktır. Ayrıca Göktürk-1 görüntülerinden üretilen SYM verilerinin düşey doğruluk değerlendirmesi yüzey analizine dayalı olarak ilk defa bu tez çalışmasında yapılmıştır.

5.2. Öneriler

Tez çalışmasında ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında; stereo Göktürk-1 uydu görüntülerinden %95 güven aralığında (LE95) 2.51m düşey doğrulukta SYM verisi üretilebileceği görülmüştür. Bu kapsamda Göktürk-1 uydusunun Türkiye'yi kapsayacak şekilde stereo çekim planlaması yapıp bu görüntülerden yüksek çözünürlükte SYM verisi üretilebilir. Üretilen SYM verisi ülke içerisinde yüksek çözünürlük ve doğruluk gerektiren birçok uygulamada altlık olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdikan, S., Şanlı, F. B., Alkış, Z., & Alkış, A. (2007). SAR Görüntülerinden Üretilen İnterferometrik ve Stereo Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalitesinin İncelenmesi. *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.
- Aguilar, M. A., Saldana, M. M., & Aguilar, F. J. (2013). Generation and Quality Assessment of Stereo-Extracted DSM from GeoEye-1 and WorldView-2 Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1259 - 1271.
- Algancı, U., Beşol, B., & Sertel, E. (2018). Accuracy Assessment of Different Digital Surface Models. *International Journal of Geo-Information*.
- American Society for Photogrammetry And Remote Sensing (ASPRS) Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2015, 3). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, s. A1–A26. doi:10.14358/PERS.81.3.
- Arasan, G., Yılmaz, A., Fırat, O., Avşar, E., Güner, H., Ayğın, K., & Yüce, D. (2020). Accuracy Assessments of Göktürk-1 Satellite Imagery. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 160-168.
- Aytekin, G., Topan, H., Elkar, Y. E., Kişi, M., & Erişik, O. (2019). 2D Orientation Accuracy of Göktürk-1 Panchromatic Imagery. *2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*. İstanbul: IEEE.
- Benediktsson, J. A., Chanussot, J., & M. Moon, W. (2012). Very High-Resolution Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *Point of View*, 1907-1910.
- Boccardo, P., Sandu, C., Andrea, A., & Perez, F. (2019). Digital Surface Models extraction by Göktürk-1 satellite stereo pairs. *2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, (s. 827-832). İstanbul.
- Çetin, M. (2020). *Göktürk-1 Uydusunun Sınıflandırma Kapasitesinin Alternatif Uydu Görüntü Verileri ile Karşılaştırılması*. Zonguldak: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Demirkesen, A. C. (2003). Sayısal Yükseklik Modellerinin Analizi ve Sel Basman Alanlarının Belirlenmesi. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, (s. 192-202). Konya.
- Eroğlu, M. M., & Narin, Ö. G. (2021). İnsansız hava aracı ile üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile Google Earth ve HGM Küre verilerinin karşılaştırılması. *Journal of Polytechnic*, 545-551.
- Greenwalt, C., & Shultz, M. (1968). *Principles of Error Theory and Cartographic Applications*. Missouri: Aeronautical Chart and Information Center.
- Guo, Z., & Xiuxiao, Y. (2006). On RPC Model of Satellite Imagery. *Geo-spatial Information*, 285-291.

- Gültekin, F. G., Atak, V. O., Ayaz, M. E., & Arı, M. (2019). Geometric Accuracy in Satellite Imagery: Test Methods & Göktürk-1 Performance Evaluation. *2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, (s. 813-819). İstanbul.
- Gümüş, K., & Şen, A. (2017). Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğunu Etkileyen Faktörlerin Varyans Analizi ile İstatiksel Olarak İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 46-58.
- Gürçay, E. (2019). Göktürk-1 Uydusu Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon Faaliyetleri. *Hava Kuvvetleri Dergisi*.
- Hacıağaoğlu, B. (2013). *Uydu Görüntüleri ile Peyzaj Tiplerinin Belirlenmesinde Mekansal Çözünürlüğün Etkisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Hu, Y., Tao, V., & Croitoru, A. (2004). Understanding the rational function model: Methods and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Maretika, R. P. (2017). Designing Software Prototype for Digital Surface Model Extraction from Stereo Satellite Imagery Based on Rational Function Model. *Journal of Geosciences and Geomatics*, s. 195-204.
- Mazzanti, P., Scancella, S., Virelli, M., Frittelli, S., Nocente, V., & Lombardo, F. (2022). Assessing the Performance of Multi-Resolution Satellite SAR Images for Post-Earthquake Damage Detection and Mapping Aimed at Emergency Response Management. *Remote Sensing*.
- Merchant, J. W. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. *Cartography and Geographic Information Science*.
- Nikolakopoulos, K. G. (2020). Accuracy assessment of ALOS AW3D30 DSM and comparison to ALOS PRISM DSM created with classical photogrammetric techniques. *European Journal of Remote Sensing*, 1-14.
- Papadopoulou, E.-E., Vasilakos, C., Zouros, N., & Soulakellis, N. (2021). DEM-Based UAV Flight Planning for 3D Mapping of Geosites: The Case of Olympus Tectonic Window, Lesvos, Greece. *International Journal of Geo-Information*.
- Şanlı, F. B. (2006). Stereoskopik Radarsat F1-F5 Görüntülerinden Üretilen Sayısal Arazi Modellerinin Değerlendirilmesi. *Jeodezi ve Joinformasyon Dergisi*, 40-48.
- Şıpka, T. (2014). *Worldview-1 Stereo Uydu Verilerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modelinde Doğruluk Analizi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi .
- Tadano, T., Ishida, .., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K., & Iwamoto, H. (2014). Precise Global DEM Generaion by ALOS PRISM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, (s. 71-76). Suzhou, China.

Ünal, A. (2020). *Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi*. Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi.

Wang, S., Ren, Z., Wu, C., Lei, Q., Gong, W., Ou, Q., . . . Li, C. (2019). DEM generation from Worldview-2 stereo imagery and vertical accuracy assessment for its application in active tectonics. *Geomorphology*, 107-118.

Zheng, G., & Moskal, M. (2009). Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors*, 2719-2745.
doi:10.3390/s90402719

URL-1: <https://www.maxar.com/constellation> adresinden alındı

URL-2: <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/lidar-light-detection-ranging/> adresinden alındı

URL-3: <https://resources.maxar.com/optical-imagery/i-cant-believe-its-not-aerial-innovations-in-satellite-imagery> adresinden alındı

URL-4: <https://resources.maxar.com/satellite-imagery-basics/earth-imaging-episode-iii-spectral-resolution> adresinden alındı

URL-5: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_0d954.pdf adresinden alındı

URL-6: <https://www.hvkk.tsk.tr/Custom/Hvkk/238> adresinden alındı

URL-7: <https://www.tusas.com/urunler/uzay/yer-gozlem-ve-kesif-uydulari/gokturk-1> adresinden alındı

URL-8: http://satimagingcorp.s3.amazonaws.com/site/pdf/WorldView_2_Overview.pdf adresinden alındı

URL-9: http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=31 adresinden alındı

URL-10: <https://www.harita.gov.tr/urun/sayisal-yuzey-modeli-5-m-seviye-0-sym5-10-/1> adresinden alındı