

Göktürk-1 Stereo Uydu Görüntülerinden Doğrudan Yönelme ve Yer Kontrol Noktası Kullanılarak Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğu (Accuracy of Digital Elevation Models Produced from Göktürk-1 Stereo Satellite Images Using Direct Orientation and Ground Control Point)

Mustafa DURAN¹ , Osman Semih EYİMAYA¹ 

¹Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Bakanlıklar, Ankara
m.duran@hvkk.tsk.tr, semiheyimaya@hvkk.tsk.tr

Geliş Tarihi (Received): 27.11.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 22.01.2025

ÖZ

Bu makale çalışmasında yer kontrol noktasının (YKN) Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri kullanılarak üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisinin doğruluğuna olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu makale çalışmasında üretilen SYM verilerinin düşey yönde doğruluk analizini yaparken referans altlık veri olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilen ve çalışma bölgelerine homojen olarak dağılan YKN'lerin yükseklik verileri kullanılmıştır.

Bu makalede çalışma bölgesi olarak Konya ili ve Bergama ilçesi sınırları içerisinde kalan iki farklı bölge seçilmiştir. Bu bölgelerin seçiminde arazi yapılarının homojen bir dağılım sergilemesine ve YKN'lerin homojen olarak dağılım göstermesine dikkat edilmiştir.

Söz konusu çalışma bölgelerini kapsayan Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri kullanılarak YKN kullanılmadan üretilen SYM verisi ve YKN kullanılarak üretilen SYM verilerinin düşey yönde doğruluklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

SYM verisi üretiminde PCI Catalyst yazılımı kullanılmıştır. PCI Catalyst yazılımında SYM verisi üretiminde 3 farklı yol izlenmiştir. İlk olarak YKN verisi olmadan PCI Catalyst yazılımı tarafından bağlama noktalar toplanarak üretilen SYM verisi, ikinci olarak YKN kullanılıp bağlama noktaları kullanılmadan üretilen SYM verisi ve son olarak YKN ile beraber bağlama noktaları kullanılarak üretilen SYM verileri karşılaştırılarak düşey yönde doğruluk analizleri yapılması amaçlanmıştır. Söz konusu doğruluk analizini yaparken referans veri olarak HGM'den temin edilen ± 1 m doğruluğa sahip olan 53 adet yer kontrol noktalarının yükseklik verileri kullanılmıştır.

YKN kullanılmadan sadece PCI Catalyst yazılımı tarafından toplanan bağlama noktaları (Tie Points-TP) kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizinde çalışma bölgelerinde homojen olarak dağılan toplam 53 adet noktadan farklar alınarak oluşan karesel ortalama hata (KOH) değerlerinin ortalaması 2.33 m ve Lineer Ortalama Hata 90% (LE90) değerlerinin ortalaması 3.83 m olarak analiz edilmiştir.

YKN kullanılarak Göktürk-1 stereo görüntülerinden üretilen SYM verisinin homojen olarak dağılan 53 adet noktadan farklar alınarak oluşan karesel ortalama hata (KOH) değerlerinin ortalaması 1.33 m ve LE90 değerlerinin ortalaması 2.18 m olarak analiz edilmiştir.

YKN ve toplanan bağlama noktaları kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizinde homojen olarak dağılan noktaların farklarından oluşan karesel

ortalama hata (KOH) değerlerinin ortalaması 0.97 m ve LE90 değerlerinin ortalaması 1.59 m olarak analiz edilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen bulgu ve analizlere göre YKN kullanılarak üretilen SYM verisinin YKN kullanılmadan üretilen SYM verisine göre düşey yönde doğruluğunun daha iyi olduğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Göktürk-1, Yer Kontrol Noktası, Doğruluk, PCI Catalyst, Bağlama noktası

ABSTRACT

In this article, it is aimed to investigate the effect of ground control point (GCP) on the accuracy of Digital Elevation Model (DEM) data produced using Göktürk-1 stereo satellite images. In this context, while analyzing the vertical accuracy of the DEM data produced in the article in question, the height data of the GCPs obtained from the Directorate General for Mapping (DGM) and distributed homogeneously in the study areas were used as reference base data.

In this article, two different regions within the borders of Konya province and Bergama district were selected as the study area. In the selection of these regions, attention was paid to ensure that the land structures and GCPs were homogeneously distributed.

It is aimed to compare the vertical accuracy of DEM data produced without using GCP and DEM data produced using GCP using Göktürk-1 stereo satellite images covering the study regions in question.

PCI Catalyst software was used to produce DEM data. Three different methods were followed in generating DEM data in the PCI Catalyst software. It is aimed to perform vertical accuracy analyzes by comparing firstly the DEM data produced by collecting tie points by the PCI Catalyst software without GCP data, secondly the DEM data produced by using GCP but without using tie points, and finally the DEM data produced by using tie points together with GCP. While performing the accuracy analysis in question, the altitude data of 53 ground control points with an accuracy of ± 1 m obtained from DGM were used as reference data.

In the accuracy analysis of the DEM data produced by using only the tie points (TP) collected by the PCI Catalyst software without the use of GCP, the Root Mean Square Error (RMSE) values obtained by taking the differences from a total of 53 points distributed homogeneously in the study areas were analyzed as 2.33 m and the average of the LE90 values as 3.83 m.

The Root Mean Square Error (RMSE) values obtained by taking the differences from 53 homogeneously distributed points of the DEM data produced from Göktürk-1 stereo images using YKN were analyzed as 1.33 m and the average of the LE90 values as 2.18 m.

In the accuracy analysis of the DEM data produced using GCP and collected tie points, the Root Mean Square Error (RMSE) values consisting of the differences of homogeneously distributed points were analyzed as 0.97 m and the average of LE90 values as 1.59 m.

As a result, according to the findings and analysis, it has been analyzed that the DEM data produced using GCP has better vertical accuracy than the DEM data produced without using GCP.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), Göktürk-1, Ground Control Point, Accuracy, PCI Catalyst, Tie Point

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama bilimi, teknolojinin gelişimi ile beraber sürekli kendini yenileyen ve güncelleyen bir bilim dalıdır. Söz konusu bu yenileme ile beraber uzaktan algılama teknolojisi ile yer küre hakkında çeşitli bilgiler elde edilebilmektedir.

Uzaktan algılama biliminin en fazla gelişim gösterdiği alanın uzay bölümü olduğu görülmektedir. Bu kapsamda çeşitli gelişmiş uydu sistemleri uzaya fırlatılmıştır. Bu uyduların bazı teknik özelliklerine göre kullanım alanları değişmektedir. Uzayda yer alan uydu sistemlerinin genel olarak kullanımını, yer küredeki herhangi bir nokta veya bölge hakkında bilgi edinmek olarak özetlemek doğru olacaktır.

Ülkemiz uzaktan algılama bilimi üzerine son dönemlerde büyük gelişim göstermektedir. Bu gelişimin bir ürünü olan bir optik uydu sistemine sahip Göktürk-1 uydusu ile yer kürede herhangi bir bölgenin yüksek çözünürlükte görüntüleri elde edebilmektedir. Elde edilen söz konusu uydu görüntüleri ile çeşitli yazılımlar kullanılarak farklı coğrafi bilgiler ve analizler üretilebilmektedir. Bu verilerden birisi de sayısal yükseklik modelidir (SYM). SYM verisi yeryüzünde herhangi bir noktanın veya bölgenin yükseklik bilgisini veren bir veri türüdür.

SYM verisi bir bölgenin, alanın ve yüzeyin karakteristik özelliklerinin yansıdığı, arazi üzerindeki yükseklik farklarının gösterildiği ve araziyi 3 boyutlu olarak tanımlayan bir coğrafi modeldir.

SYM verisi arazi üzerindeki tüm nesnelerin yükseklik bilgilerinin olduğu doğal oluşumlar

(orman vb.) ve yapay (binalar vb.) detayların yüksekliklerini de içermektedir. SYM uzaktan algılama bilimi için önemli bir üründür. Anlamli olmayan ham uydu görüntüleri ortofoto yapımında kullanılmaktadır. Burada kullanılan SYM verisinin doğruluğu ortofotonun doğruluğuna büyük oranda artıracaktır.

Uzaktan algılama bilminde SYM verisi üretimi çeşitli teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Bu tekniklerden en çok tercih edilen stereo görüntü çiftleri kullanılarak üretim ile birlikte, Lazer tarama (LIDAR), Radar İnterferometri (InSAR) ve izohipslerden SYM verisi üretimi de gerçekleştirilmektedir. Stereo görüntü çiftleri kullanılarak SYM verisi üretimini açıklayacak olursak, iki görüntü arasında karşılıklı örtüşen noktaların belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli uzaktan algılama yazılımları yardımıyla bağlama noktalar belirlenebilmektedir. Ancak belirlenen bu bağlama noktaları arazi yüzeyini tam olarak yansıtamamaktadır. Bu sorun toplanan noktaların konumlarının bilinmemesidir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması gerekmektedir. Söz konusu toplanan noktalar enterpole edildikten sonra arazi yüzeyi tam anlamıyla temsil edilmektedir. Son aşama olarak üretilen SYM verisinin kontrol edilmesi ve düzenlenmesi gereken kısımların düzenlenerek kullanıma sunulacak hale getirilmesi işlemidir. Yüksek çözünürlüklü optik uydu sistemlerinin var olması ve yaygın olması sebebi ile optik uydulardan elde edilen stereo görüntüler kullanılarak üretilen SYM verileri yüksek çözünürlük ve doğruluk istenen çalışmalarda sık sık kullanılmaktadır (Duran, 2024).

Öte yandan üretimi yapılan SYM'lerin doğruluğu, topoğrafyanın özelliğine, örnekleme sıklığına, seçilen enterpolasyona ve yersel çözünürlük gibi birtakım faktörlere bağlıdır. Söz konusu faktörler üretimi yapılan SYM'nin doğruluğu açısından çok önemlidir (Eyimaya, 2024).

Arasan ve diğerleri (2020) tarafından da, Göktürk1 uydusundan iki farklı bölgede elde edilen stereo görüntülerden farklı yöntemlerle üretilen SYM ve ortogörüntülerin yatay ve düşey doğrulukları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, Göktürk-1 uydu görüntülerinden üretilen ortogörüntü ve SYM doğruluklarının, ortogörüntü üretiminde kullanılan Sayısal Arazi Modeli (SAM), seçilen yöntem ve görüntünün çekim açısına göre değişiklik göstermekle birlikte Göktürk-1 uydusu için açıklanan; ± 2 m'den daha yüksek doğruluklu

ortogörüntü ve ± 3 m'den daha yüksek doğruluklu SYM elde edebildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Ağdaş (2022) tarafından yüksek çözünürlüklü elektro-optik uydu sistemleri arasında yer alan Göktürk-1 uydusuna alınan görüntülerden, uygun nitelik ve dağılımda YKN ve Bağlama Noktası (BN) kullanılması durumunda, uydu teknik özelliklerinde belirtildiği gibi %90 güven aralığında ± 3 m'den daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu makalede Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri kullanılarak YKN kullanılmadan üretilen SYM verisi ile HGM'den temin edilen YKN'ler kullanılarak üretilen SYM verilerinin doğruluk analizleri yapılmış ve yer kontrol noktasının ve doğrudan yönelme elemanlarının üretilen SYM verisinin doğruluğuna olan etkisinin analizi amaçlanmıştır.

1. MATERYAL ve METOT

a. Çalışma Alanı ve Veriler

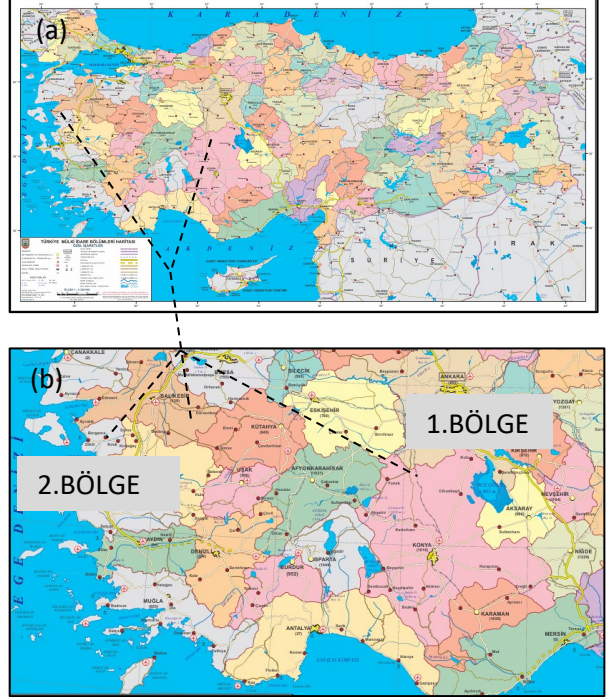
Bu makalede Konya ili ve Balıkesir ili Bergama ilçe sınırları içerisinde kalan iki farklı bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu bölgeleri kapsayacak şekilde Göktürk-1 stereo uydu görüntü çiftleri temin edilmiştir. Uydu görüntüleri temin edildikten sonra genel manada bulutluluk olmaması ve çalışma bölgesini kapsamı gibi bazı teknik kontroller yapılmıştır.

Makalede SYM verisi üretimi yapılırken söz konusu çalışma bölgelerinde bulunan ve HGM'den temin edilen YKN'ler kullanılmıştır. Üretilen SYM verilerinin dikey yönde doğruluk analizi yapabilmek için ise referans veri olarak yer kontrol noktalarının yükseklik bilgileri kullanılmıştır. Çalışma bölgeleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çalışma bölgelerinden alınan Göktürk-1 stereo uydu görüntü çiftlerinden PCI Catalyst yazılımı kullanılarak SYM verileri üretilmiştir. SYM verisi üretim aşamasında görüntü eşleme işlemini hızlandırmak için Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) ait Advanced Land Observing Satellite (ALOS) verisi kullanılmıştır. ALOS yükseklik verisinin yer örnekleme aralığı 30 m'dir.

PCI Geomatica yazılımında bağlama noktaları, Hızlı Fourier Dönüşümü Faz Eşleştirme (Fast Fourier Transform Phase Matching-FFTP) ve Normalleştirilmiş Çapraz Korelasyon (Normalized Cross Correlation-NCC) görüntü eşleme yöntemleri kullanılmıştır. Bağlama noktaları

oluşturduktan sonra "Otomatik DEM Çıkarımı (Automatic DEM Extraction)" modülü kullanılarak stereo uydu görüntülerinden SYM verisi üretimi gerçekleştirilmiş ve görüntü eşleme yöntemi olarak Semi-Global Matching (SGM) kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) (b) Çalışma alanı (Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiştir.)

PCI Geomatica yazılımında otomatik SYM oluşturmak için, X yönünde yükseklik paralaksını korumak amacıyla ön ve arka stereo görüntülerden bir çift yarı epipolar görüntü oluşturulur. Daha sonra bu görüntülerin ilgili gri değerlerinin karşılaştırılması yoluyla SYM'yi oluşturmak için otomatik görüntü eşleme yöntemi kullanılır.

Sol ve sağ epipolar görüntüleri karşılık gelen pikselleri bulmak için bu yöntem, sıralı şekilde normalleştirilmiş alt piksel ortalama çapraz korelasyon eşleştirmesi yapar. Kullanılan gerçek eşleştirme yöntemi, eşleşen her piksel için 0 ile 1 arasında korelasyon katsayıları üretir; bu katsayılardan 0 toplam uyumsuzluğu ve 1 en doğru eşleşmeyi temsil eder. Daha sonra, alt piksel doğruluğuyla eşleşme konumunu bulmak için maksimum korelasyon katsayılarının etrafına ikinci dereceden bir yüzey yerleştirilir. Görüntüler arasındaki konum farkı, arazi yükseklik farklarından kaynaklanan eşitsizliği veya paralaksı verir. Bu işlem sonrasında 3 boyutlu bir uzay-kesişme çözümü kullanılarak WGS84 elipsoidinin

üzerindeki mutlak yükseklik değerlerine dönüştürülür (Cheng ve Chaapel, 2008).

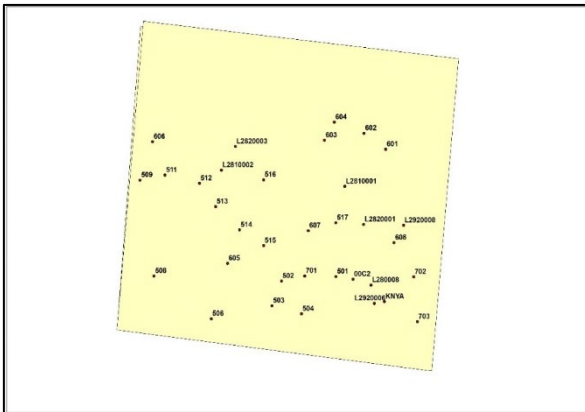
Üretilen SYM verilerinin düşey yönde doğruluk karşılaştırılması yapılırken HGM'den temin edilen YKN'ler kullanılmıştır.

Söz konusu YKN'ler yatay ve düşeyde 1 m doğruluğa sahiptir. Çalışma bölgelerinde kullanılan Göktürk-1 stereo uydu görüntü çiftleri 2018 ve 2022 yılında çekilmiş görüntü çiftleridir. Göktürk-1 stereo uydu görüntülerine ait detaylı bilgi aşağıdaki Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan görüntüler.

Bölge	Görüntü Çiftleri	Çekim Açısı (Off Nadir)
1	GKT_20180706075201_L2A	28.76°
	GKT_20180706075345_L2A	30.00°
2	GKT_20221026081516_L2A	29.12°
	GKT_20221026081705_L2A	33.78°

Söz konusu çalışma bölgelerini kapsayan tüm YKN'ler kontrol aşamasında kullanılmaya çalışılmıştır. Birinci bölgede çalışma alanını kapsayan 34 adet YKN, ikinci bölgede çalışma alanını kapsayan 19 adet YKN bulunmaktadır. Çalışma bölgelerinde HGM'den temin edilen söz konusu YKN verilerinin dağılımı Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

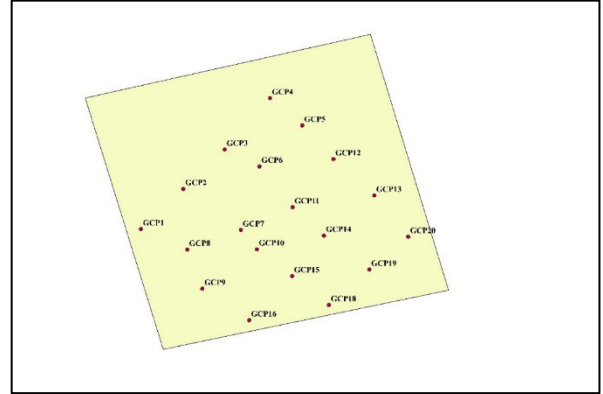


Şekil 2. 1. Bölgede Bulunan Yer Kontrol Noktaları

Bu çalışmada doğruluk analizi yapılırken 1.Bölgede 1 YKN kullanılarak SYM verisi üretilmiş ve diğer YKN'ler kontrol amaçlı kullanılmıştır. SYM verisi üretiminde kullanılacak olan YKN'nin

seçiminde, görüntüyü homojen olarak yansıtması ve uydu görüntüsünde YKN'nin seçilebilir olması YKN seçimini etkilemiştir. 1 YKN kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizleri diğer YKN noktaları kullanılarak yapılmıştır.

2.Bölgede yapılan çalışmada ise 1 YKN kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizleri diğer YKN noktaları kullanılarak yapılmıştır. YKN seçimi hususu bu çalışmada da dikkate alınmıştır.



Şekil 3. 2. Bölgede Bulunan Yer Kontrol Noktaları

b. Göktürk-1 Uydusunun Genel Özellikleri

Günümüzde uzaktan algılama görüntüleri, günlük hayatta dahi yaygın olarak kullanılan bir veri kaynağı haline gelmiştir. Yapay uydular tarafından taşınan görüntüleme Landsat serisi sekizinci, SPOT serisi ise yedinci uydusu ile varlığını sürdürmektedir. 1999 yılında ise ABD, IKONOS uydusu ile metre altı çözünürlüklü uzaktan algılama devrini başlatmıştır. Günümüzde pek çok uzaktan algılama sistemi varlığını sürdürmekte ve ülkemiz de 2003 yılından beri sırasıyla BİLSAT, RASAT, GÖKTÜRK-2 ve GÖKTÜRK-1 uyduları ile uzaktan algılama çalışmalarını sürdürmektedir (Cam ve Topan, 2017).

Uzaktan algılama biliminin gelişimi ile beraber, farklı sensör tiplerinde ve çözünürlüklere sahip uydu sistemlerine ait görüntüler gün geçtikçe artmaktadır. Bu da veriye kolayca ulaşabilmeyi sağlamaktadır. Göktürk-1 uydusu nokta (spot), şerit, geniş alan ve stereo görüntüleme gibi 4 farklı görüntüleme yeteneğine sahiptir. Nokta (spot) görüntüleme görüntünün genişliği ve uzunluğu 15x15 km, şerit görüntüleme ise görüntünün genişliği ve uzunluğu en fazla 15x780 km'dir.

Göktürk-1, Millî Savunma Bakanlığı'nın 2016 yılında fırlatılan yüksek çözünürlüklü yer gözlem

uydusudur. Pushbroom prensibiyle çalışarak sırasıyla 0.5 m ve 2 m çözünürlükte pankromatik ve MS görüntüler elde etmektedir. Sensörün nadirdeki tarama genişliği 15 km'dir (Gültekin ve diğerleri, 2019).

Göktürk-1 uydusu yörünge istikametine ek olarak doğu-batı ve kuzey-güney istikametinde 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. Göktürk-1 uydusuna ait teknik özellikler Tablo 2'de gösterilmiştir (Telespazio, 2017).

Tablo 2. Göktürk-1 Uydusu Teknik Özellikleri.

Özellikler	Göktürk-1 Uydusu
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	15x15 km
Şerit Genişliği	15 km
Şerit Uzunluğu	780 km (tek geçişte indirebilecek) 14.300 km (azami çekim kabiliyeti)
Çözünürlük	0.5 m Siyah-Beyaz 2 m Renkli
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme açısıyla) 11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)

Kullanıcı isteklerine göre Göktürk-1 uydusu çekim planlaması yapılır. İlgili bölgeye ait uydu

çekimini yapıldıktan sonra yer kontrol istasyonuna ham görüntü (L0) transferi gerçekleştirilir.

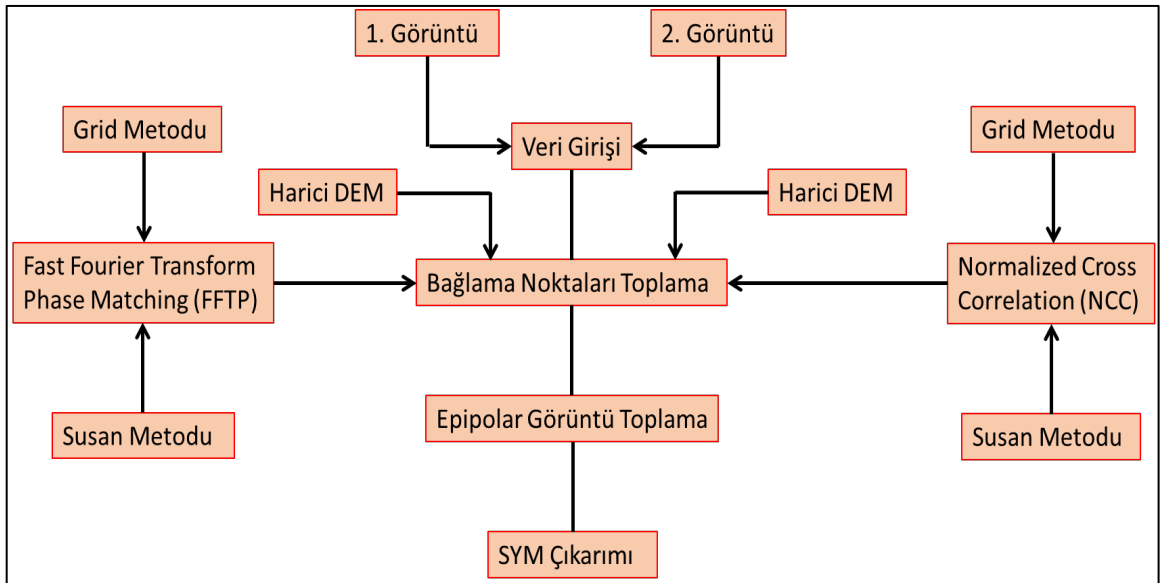
L0 seviye görüntü üzerinde çeşitli görüntü işleme algoritmaları çalıştırılarak radyometrik düzeltmesi yapılmış Seviye-1 (L1) görüntüler elde edilmiş olur.

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 mozaiklenmiş görüntüler (L5) ve tematik harita (L6) üretilir (Akdeniz, 2022).

2. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu makalede çalışma bölgelerini kapsayan iki farklı Göktürk-1 stereo görüntü çifti temin edilmiştir. Bu görüntü çiftleri kullanılarak PCI Catalyst yazılımında farklı metotlar kullanılarak SYM verisi üretimi gerçekleştirilmiştir.

SYM verisi üretilirken görüntü eşleme işlemi hızlandırmak için ALOS yükseklik verisi kullanılmıştır. Üretilen SYM verileri arasındaki farklılıkların karşılaştırılması aşamasında homojenliği sağlamak amacıyla 0.5 m çözünürlüğünde yükseklik verileri üretilmiştir. PCI Catalyst yazılımında stereo görüntüleri kullanarak SYM verisi üretimi aşamasını gösteren iş adımları Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Stereo Görüntülerden SYM Üretimi İş Adımları.

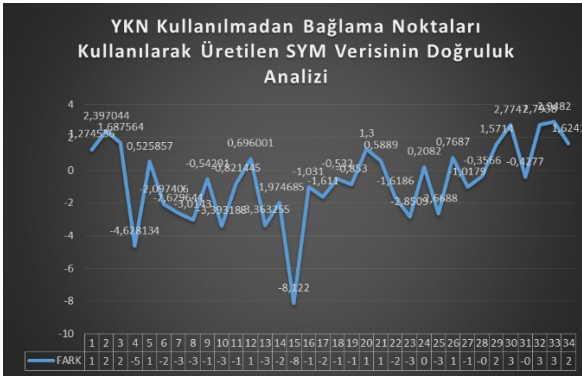
Söz konusu iş adımları takip edilerek her iki bölgede üretilen SYM verileri 0.5 m çözünürlüğe sahip olarak üretilmiştir. Üretilen SYM verilerinin HGM'den temin edilen YKN'ler ile doğruluk analizi yapılmıştır.

Birinci bölgede YKN kullanılmadan sadece yazılım tarafından toplanan bağlama noktaları (Tie Point) kullanılarak SYM verisi üretilmiştir. Üretilen SYM verisinin düşey yönde doğruluk analizinde çalışma bölgesinde homojen olarak dağılan ve HGM'den temin edilen 34 adet YKN'ler ile farklar alınarak oluşan KOH değeri 2.44 m ve LE90 değeri 4.01 m olarak analiz edilmiştir.

Birinci bölgede üretilen SYM verisinin YKN'ler kullanılarak farklarından oluşan değerler Tablo 3'de ve bu farklara yönelik oluşturulan grafik Şekil 5'de sunulmuştur.

Tablo 3. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	1.9033 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	2.4394 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	4.0125 m



Şekil 5. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

Birinci bölgede HGM'den temin edilen YKN'ler kullanılarak Göktürk-1 stereo uydu görüntülerinden SYM verisi PCI Catalyst yazılımında üretilmiştir. Üretilen SYM verisinin düşey yönde doğruluk analizi yapılırken çalışma bölgesinde homojen olarak dağılan 34 adet yer kontrol noktasından farklar alınarak oluşan KOH değeri 1.70 m ve LE90 değeri 2.80 m olarak analiz edilmiştir.

Söz konusu farklara yönelik değerler Tablo 4'te ve nokta bazlı farkları gösteren grafik Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	1.1362 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	1.7049 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	2.8045 m



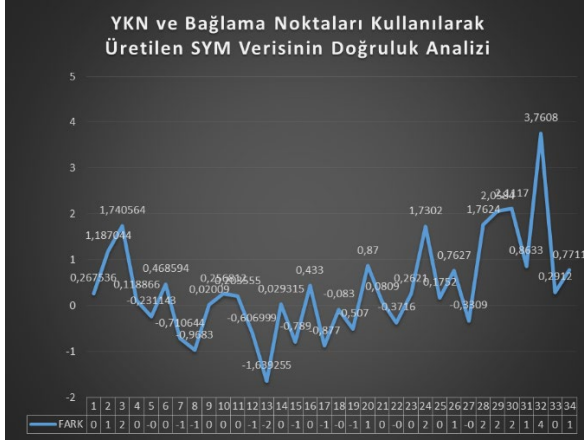
Şekil 6. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

Birinci bölgede HGM'den temin edilen YKN ve PCI Catalyst yazılımı tarafından toplanan bağlama noktaları (TP) kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizinde homojen olarak dağılan noktaların farklarından oluşan KOH değeri 1.12 m ve LE90 değeri 1.85 m olarak analiz edilmiştir.

Birinci bölgede üretilen SYM verisinin YKN'lere göre farklarından oluşan değerler Tablo 5'de ve bu farklara yönelik oluşturulan grafik Şekil 7'de sunulmuştur.

Tablo 5. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	0.8041 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	1.1286 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	1.8564 m



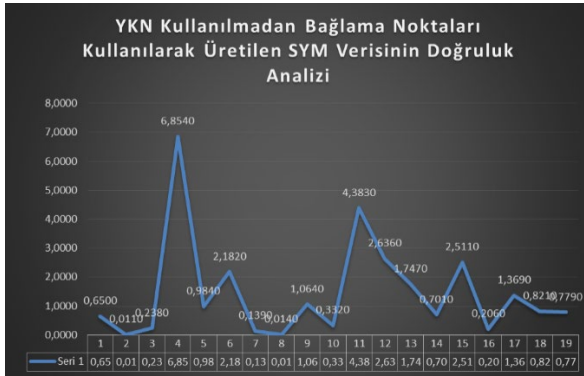
Şekil 7. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

İkinci bölgede YKN kullanılmadan sadece PCI Catalyst yazılımı tarafından toplanan bağlama noktaları (Tie Point) kullanılarak SYM verisi üretilmiştir. Üretilen SYM verisinin düşey yönde doğruluk analizinde çalışma bölgesinde homojen olarak dağılan ve HGM'den temin edilen 19 adet YKN'leri ile farklar alınarak oluşan KOH değeri 2.22 m ve LE90 değeri 3.65 m olarak analiz edilmiştir.

İkinci bölgede üretilen SYM verisinin YKN'lere göre farklarından oluşan değerler Tablo 6'da ve bu farklara yönelik oluşturulan grafik Şekil 8'de sunulmuştur.

Tablo 6. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	1.4537 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	2.2202 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	3.6519 m

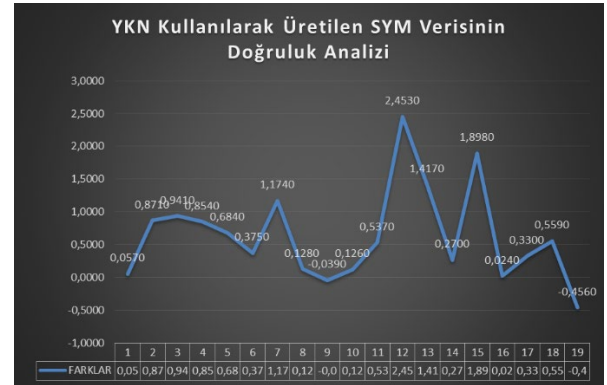


Şekil 8. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

İkinci bölgede HGM'den temin edilen YKN'leri kullanılarak Göktürk-1 stereo görüntülerinden SYM verisi PCI Catalyst yazılımında üretilmiştir. Üretilen SYM verisinin düşey yönde doğruluk analizi yapılırken çalışma bölgesinde homojen olarak dağılan 19 adet yer kontrol noktasından farklar alınarak oluşan KOH değeri 0.94 m ve LE90 değeri 1.55 m olarak analiz edilmiştir. Söz konusu farklara yönelik değerler Tablo 7'de ve nokta bazlı farkları gösteren grafik Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 7. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	1.1636 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	0.9463 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	1.5566 m



Şekil 9. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

İkinci bölgede HGM'den temin edilen YKN ve yazılım tarafından toplanan bağlama noktaları (TP) kullanılarak üretilen SYM verisinin doğruluk analizinde homojen olarak dağılan noktaların farklarından oluşan KOH değeri 0.80 m ve LE90 değeri 1.33 m olarak tespit edilmiştir. Söz konusu farklara yönelik değerler Tablo 8'de ve nokta bazlı farkları gösteren grafik Şekil 10'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Farklardan Oluşan Metrik Değerler.

	Değerler (m)
Farkların Ortalaması	0.5648 m
Karesel Ortalama Hata (KOH)	0.8097 m
Lineer Ortalama Hata (LE90)	1.3318 m



Şekil 10. Nokta Bazlı Farklardan Oluşan Metrik Değerlere Ait Grafik.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Göktürk-1 stereo uydu görüntüleri kullanılarak farklı metotlar kullanılarak SYM verisi üretilmiştir. Bu metotların SYM verisinin kalitesine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda yapılan çalışmada PCI Catalyst Yazılımı kullanılarak SYM verileri üretilmiştir. YKN'ler kullanılarak üretilen SYM verilerinin ortalama LE90 değeri yaklaşık 2.17 m olarak bulunmuştur. Bağlama noktalar kullanılarak üretilen SYM verilerinin ortalama LE90 değeri yaklaşık 3.83 m olarak bulunmuştur. Hem YKN'ler hem de bağlama noktalar kullanılarak üretilen SYM verilerinin ortalama LE90 değeri yaklaşık 1.59 m olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak SYM verisi üretiminde YKN noktalarının olmadığı bölgelerde bağlama noktalarının kullanabileceği ve SYM verisinin doğruluğuna olumlu yönde etki edebileceği değerlendirilmektedir.

ORCID

Mustafa DURAN

<https://orcid.org/0009-0001-2182-6747>

Osman Semih EYİMAYA

<https://orcid.org/0000-0002-3267-1939>

KAYNAKLAR

- Akdeniz, M. (2022). *Göktürk-1 Uydu Görüntülerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğunun Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Konya. <https://gcris.ktun.edu.tr/handle/20.500.13091/3856>
- Arasan, G., Yılmaz, A., Fırat, O., Avşar, E., Güner, H., Ayğın, K. ve Yüce, D. (2020). Accuracy Assessments of Göktürk-1 Satellite Imagery. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 160-168. doi:10.26833/ijeg.650899
- Ağdaş, T. (2022). *Göktürk-1 Uydu Görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Doğruluk Analizi (Yüksek lisans tezi)*. Konya. <https://hdl.handle.net/20.500.12452/9094>
- Cam, A. ve Topan, H. (2017). RASAT ve GÖKTÜRK-2 Görüntülerinin Gerçek Yer Örnekleme Aralığının Belirlenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*. doi: 10.7212%2Fzkufbd.v8i1.1055
- Cheng, P. ve Chaapel, C. (2008). Using WorldView-1 Stereo Data with or without Ground Control Points - Automatic DEM Generation. *GEOInformatics*. https://www.researchgate.net/publication/263272412_Using_WorldView1_Stereo_Data_with_or_without_Ground_Control_Points_Automat ic_DEM_Generation
- Duran, M. (2024). *Kompsat-5 SAR Görüntüleri Kullanılarak Üretilen SYM Verisinin Hassasiyetinin Araştırılması (Yüksek lisans tezi)*. Zonguldak.
- Eyimaya, O. S. (2024). *6 Şubat 2023 Depremlerinin Adıyaman Tut İlçesindeki Yükseklik Değişimine Etkisinin Göktürk-1 Verilerinden Üretilen Sayısal Yükseklik Modeli Kullanılarak İncelenmesi (Yüksek lisans tezi)*. Konya.
- Gültekin, F. G., Atak, V. O., Ayaz, M. E. ve Arı, M. (2019, June). Geometric accuracy in satellite imagery: Test methods and göktürk-1 performance evaluation. In *2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 813-819). IEEE. doi: 10.1109/RAST.2019.8767793
- Telespazio, 2017, Göktürk-1 Sistem Özellikleri Teknik Notu.