

GÖKTÜRK-2 UYDUSU ÜÇ BOYUTLU YERYÜZÜ MODELLEME PERFORMANSI ANALİZİ

A.M.Marangoz^a, U.G.Sefercik^{a,*}, D.Yüce^b

^a Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye -
aycanmarangoz@hotmail.com, sefercik@beun.edu.tr

^b Zonguldak Bulent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, Türkiye -
damlay1990@hotmail.com

ANAHTAR KELİMELE: Göktürk-2, Dijital Yüzey Modeli, Performans, Kalite

ÖZET:

RASAT'ın ardından Türkiye'nin ikinci yerli yapım yer gözlem uydusu olarak yörüngesine oturtulan GÖKTÜRK-2, RASAT'tan üç kat yüksek konumsal çözünürlüğe (2.5 m) ve çok daha gelişmiş stereo görüş yeteneğine sahiptir. Ancak, her optik görüntüleme uydusu gibi Göktürk-2'de, sensör geometrisi, kontrast, görüş alanındaki yoğun orman örtüsü ve topoğrafik eğim gibi nedenlerden veri kalitesinde problemler yaşamaktadır. Bu çalışmada, yüksek eğimli ve değişken yapıli topoğrafik koşullara sahip Mardin İli Derik İlçesinde, Göktürk-2 stereo görüntülerinden üç boyutlu Dijital Yüzey Modelleri (DYM)'nin üretimi ve geleneksel fotogrametri yöntemi ile elde edilen DYM referanslığında yatay ve düşey konum doğruluğu performans değerlendirmesi hedeflenmiştir. Ulaşılan sonuçlar ışığında, Göktürk-2 DYM'sinin dik ve dağlık topoğrafyada ve daha düz yapıdaki kentsel alanda sergilediği performans görsel ve istatistiksel yaklaşımlar ile ortaya konmuştur.

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki hedef objelerle doğrudan bir temas kurmaksızın havadan ya da uzaydan onlarla ilgili bilgi edinme teknolojisi olan Uzaktan Algılama (UA); hızlı gelişen optik, radar ve lidar teknolojileri sayesinde dünya genelinde giderek kullanımı yaygınlaşan modern bir yöntem haline gelmiştir. Ülkeler, bu teknolojiye entegre olabilmek için uzun yıllardır yoğun çaba sergilemektedirler.

Ülkemizde, uzay kaynaklı UA faaliyetleri TÜBİTAK önderliğinde 1990'lı yıllarda başlamış ve İngiliz Surrey Üniversitesi ile ortak çalışma ürünü olarak ortaya çıkan BİLSAT, ilk Türk uydusu misyonu olarak 2003 yılı Eylül ayında yörüngesine oturtulmuştur. BİLSAT sayesinde Türkiye, 12.6 m mekansal çözünürlükte pankromatik ve 26.7 m mekansal çözünürlükte kendi multispektral uydusu görüntülerini elde etme şansını yakalamıştır (Yüksel vd., 2016). 2006 yılına kadar görev yapan BİLSAT misyonu, haberleşme linklerinde yaşanan teknik aksaklıklar neticesinde 2006 yılı Ağustos ayında sonlandırılmıştır. Yer gözlem uydusu misyonları anlamında Türk uzay macerasının başlangıcı olan BİLSAT'ın ardından, Türkiye'nin ilk yerli yapım yer gözlem uydusu RASAT, 2011 yılı Ağustos ayında başarıyla yörüngesine oturtulmuştur. RASAT, 7.5 m pankromatik ve 15 m multispektral görüntü alım kapasitesine sahip optik prensipli bir uydusu misyonudur. Fırlatılmasının hemen ardından pozisyonlama sistemlerinde yaşanan bazı teknik aksaklıklara rağmen RASAT halen görevine başarılı şekilde devam etmektedir. Kızılötesi görüş yeteneğine sahip olmayan RASAT, stereo-görüş kamerasının çok yavaş olması nedeniyle stereo görüntüleme de beklenen performansı sağlayamamıştır. Her misyondan daha fazla ders çıkararak ilerleyen Türkiye, tüm eksikliklerin giderildiği gelişmiş yeni bir yerli uydusu misyonu planlamış ve üçüncü Türk yer gözlem uydusu GÖKTÜRK-2, Aralık 2012 tarihinde yörüngesine oturtulmuştur. Ülkemiz tarafından geliştirilmiş ilk yüksek çözünürlüklü yer gözlem uydusu olan GÖKTÜRK-2'nin tasarım, üretim ve test aşamalarındaki mühendislik etkinlikleri milli olarak gerçekleştirilmiştir.

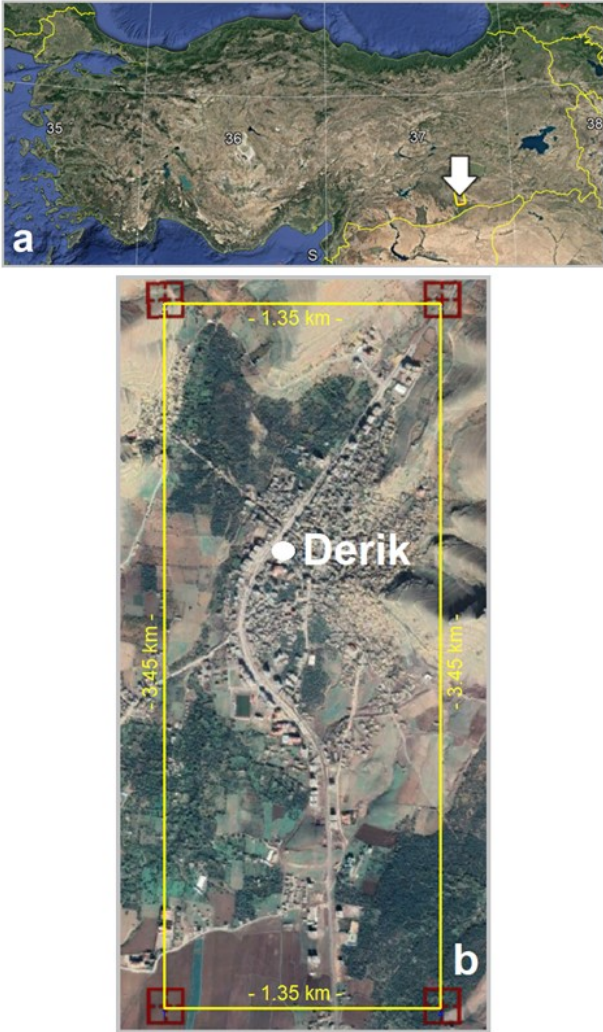
Optik uydusu misyonları, güneşe bağımlılık, yüksek irtifalı görüntüleme geometrisi, kontrast ve sensör karakteristikleri gibi nedenlerle sonuç ürün kalitesinde bir takım sınırlamalar ile karşımıza çıkmaktadır. Her uydusu misyonunun belirtilen bu sebeplerle yaşadığı kalite kaybının tespit edilmesi yani uydusu verileri ve bu verilerden elde edilen sonuç ürünlerin kalite düzeyinin tespiti vazgeçilmez bir gerekliliktir (Aguilar vd. 2010; Zhao vd. 2011; Hladik ve Alber 2012; Hobi ve Ginzler 2012). Keza, bu sayede kalitesi belirlenen uydusu verilerinin hangi tip çalışmalarda tercih sebebi olabileceği ortaya konmaktadır. Bu çalışmada, GÖKTÜRK-2 stereo görüntülerinden elde edilen üç boyutlu Dijital Yüzey Modelleri (DYM)'nin planimetrik ve düşey olarak kalitesinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bilindiği gibi yeryüzünü tüm doğal ve insan yapısı nesneler dahil olmak üzere üç boyutlu olarak tasvir eden DYM'ler günümüzde haritacılık başta olmak üzere ormancılıktan arkeolojiye, hidrolojiden şehir planlama kadar pek çok disiplinin vazgeçilmez unsurlarıdır (Fraser, 2003; Naval Gund vd., 2007; Font vd., 2010; Sterenczak ve Kozak, 2011; Sefercik vd. 2013).

Belirlenen hedefler doğrultusunda çalışma beş bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde çalışma alanı ve kullanılan materyellerin özellikleri sunulmuş, üçüncü bölümde çalışma metodolojisi verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular ortaya konmuş, beşinci ve son bölümde sonuçlar ve gelecek hedeflerine yer verilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN MATERYELLER

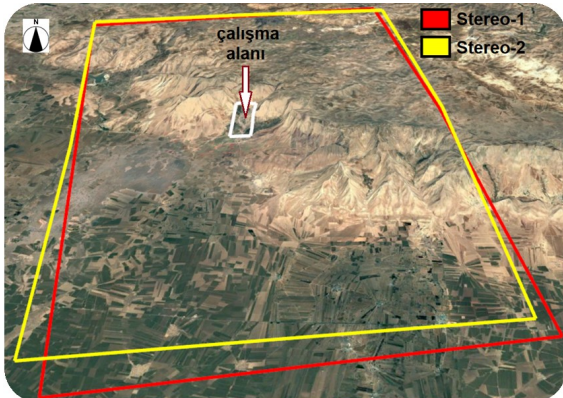
Derik İlçesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer almakta olup, Mardin iline bağlı ve il merkezine 42 km mesafededir. İlçe, 40° 16' 5" Doğu boylamı ile 37° 21' 53" Kuzey paralelleri arasında konumlu olup yaklaşık 1.381 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Çalışma alanı olarak Derik İlçe Merkezi ve yakın çevresini içine alan 1.35×3.45 km'lik bir alan belirlenmiştir.

Kuzeyi ve doğusunda eğimin ani yükseliş gösterdiği çalışma alanında, ortometrik yükseklikler yaklaşık 700 m - 1000 m arasında değişmektedir. Şekil 1, çalışma alanının Türkiye üzerindeki konumunu ve yakın plan görselini sunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı: (a) Türkiye haritası üzerindeki yeri, (b) Derik ilçesi çalışma alanı sınırları

Çalışma kapsamında kullanılan Göktürk-2 uydu görüntülerinin üç boyutlu kapsama alanı ve özellikleri Şekil 2 ve Tablo 1’de sunulmuştur. Şekil 2’de görüldüğü gibi çalışma alanı, stereo görüntülerin yaklaşık orta bölümünde yüksek eğimli bir bölgede yer almaktadır.



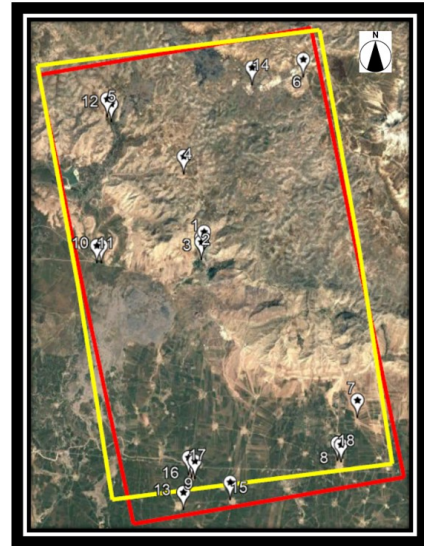
Şekil 2. Göktürk-2 stereo görüntü sınırları

Tablo 1. Göktürk-2 stereo görüntülerinin özellikleri

Özellikler	Göktürk-2 Stereo-1	Göktürk-2 Stereo-2
Alım Tarihi (y/a/g)	2018-09-16	2018-09-16
Alım Zamanı (s/d/s)	07:15:17.634	07:17:10.215
Stereo alım modu	Along-track	
Mekansal çözünürlük (m)	2.5 PAN / 5 MS	
Güneş azimut açısı (°)	134.80406	135.36513
Güneş yükseklik açısı (°)	45.90185	46.15824
Koordinat referans sistemi	WGS84	WGS84
Ebatlar (en×boy)(km)	~24×40	~24×40

3. YÖNTEM

Çalışmada öncelikle Göktürk-2 görüntülerinin yöneltme işlemleri üç boyutlu afin dönüşümü ile gerçekleştirilmiştir. İşlemler, Göktürk-2 uydusunun 2.5 m PAN mekansal çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlükteki GoogleEarth görüntülerinden toplanan 18 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılmıştır. Bunlardan tümü stereo görüntü 1’in, 16’sı ise stereo görüntü 2’nin sınırlarında olup yöneltmelerinde kullanılmışlardır. Yöneltme işleminde kullanılan noktaların dağılımı Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. YKN dağılımı

Yöneltme işlemlerinin tamamlanmasının ardından DPLX yazılımı yardımıyla Göktürk-2 stereo görüntülerinden 5 m gridli DYM üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen DYM’nin performansı, Phase One 80 megapiksel dijital hava kamerası ile 800 m irtifadan elde edilmiş hava fotoğraflarından üretilmiş 0.5 m gridli ve ~8 cm yatay ve ~12 cm düşey mutlak doğruluğa sahip fotogrametrik DYM referanslığında görsel ve istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Görsel değerlendirmelerde Göktürk-2’nin referans fotogrametrik DYM ile diferansiyel modelinden elde edilen yükseklik hata haritası üretilmiştir. İstatistiksel incelemelerde ise Göktürk-2 DYM konum doğruluğu standard sapma (eşitlik 1) ve normalize medyan mutlak sapma (eşitlik 2) metrikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$NMAD = 1.4826 \times \bar{X}_i[|\Delta Z_i - \bar{X}_j(\Delta Z_j)|] \quad (2)$$

Eşitlik 1’de, n karşılaştırılan piksel sayısını, ΔZ karşılaştırılan piksellerin yükseklik farklarını, μ ise bu farkların aritmetik ortalamasını ifade etmektedir. Eşitlik 2’de ise $\bar{X}_j$, yükseklik farklarının tek değişkenli veri setinin medyanını, $\bar{X}_i$ ise $\bar{X}_j$ ’den gelen yükseklik farklarının medyan değerini ifade eder. Normal hata dağılımında NMAD, SZ’e çok yakın bir değer olarak göze çarparken incelenen DYM’de rastlantısal hata dağılımına sebep olan bir yapı var ise NMAD değeri SZ’ten büyük çıkmaktadır. Bu, mutlak düşey doğruluk analizlerinde test edilen DYM’nin yapısal sıkıntı içinde olduğunu işaret eden istenmeyen bir durumdur. NMAD, önemli ölçüdeki yapısal hataların ortaya konması için robust bir doğruluk metriği olmasına rağmen minör yükseklik farklarını ortaya koyma anlamında SZ kadar performanslı değildir (Hellerstein 2008).

Göktürk-2 yatay konum doğruluğu tespitinin ardından X ve Y doğrultularında ortaya çıkan hata miktarları, alan bazlı çarpaz korelasyon yöntemi ile yatay ötelemeye tabi tutularak elemine edilmiş ve düşey konum doğruluk analizleri öncesinde Göktürk-2 DYM ve referans DYM yatayda tam olarak çakıştırılmıştır. Keza, düşey doğruluk değerlendirmelerinin temel koşulu yatay örtüşmedir. Yatay örtüşmenin sağlanmaması durumunda modellerin farklı bölümlerinde düşey hata tespiti yapılmasının operatörü yanıltıcı sonuçlara götüreceği tartışma götürmez bir durumdur.

4. BULGULAR

Göktürk-2 DYM’nin referans fotogrametrik DYM’ye göre standart sapma metriği temelinde elde edilen yatay konum doğruluğu aynı zamanda düşey doğruluk öncesi gerçekleştirilen yatay öteleme miktarları Tablo 2’de sunulmaktadır. Tablodan görülebileceği gibi Göktürk-2 yatay konum doğruluğu X yönünde 0.1 pixel, Y yönünde ise 0.01 pixel dolayındadır. Bu durum geometrik yöneltme işleminde kullanılan YKN’lerin performansını da açık şekilde ortaya koymaktadır.

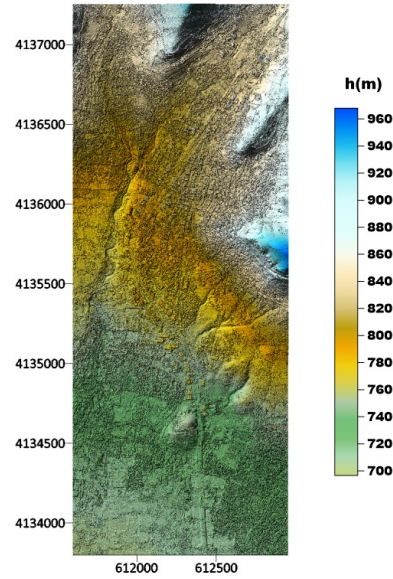
Tablo 2. Göktürk-2 DYM mutlak yatay konum doğruluğu

Referans DYM	Test edilen DYM	ΔX (m)	ΔY (m)
Fotogrametrik (0.5m)	Göktürk-2 (5m)	0.26	-0.03

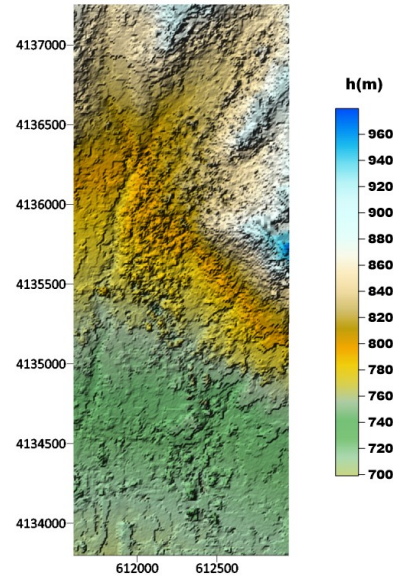
Referans fotogrametrik nokta bulutu ve Göktürk-2 stereo görüntülerinden elde edilen DYM’ler Şekil 4’te görülmektedir. DYM’ler incelendiğinde, 2.5 m orta mekansal çözünürlükteki Göktürk-2 görüntülerinden elde edilen 5 m gridli DYM’nin topoğrafik tasvir performansının oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Renkli yükseklik skalası göz önünde bulundurulduğunda, topoğrafik kot geçişi bölgelerinin fotogrametrik referansla korelasyonunun oldukça yüksek olduğu ayrıca bazı dar lineer hatların dahi tasvir edilebildiği açıkça görülebilmektedir. Ayrıca renkli yükseklik skalasında minimum ve maksimum kot değerlerinin eşit olduğu görülmektedir ki bu orta çözünürlüklü uydur verilerinden elde edilen DYM’ler için sık rastlanan bir durum değildir.

Göktürk-2 DYM’ye ait mutlak düşey konum doğruluğu sonuçları Tablo 3’te görülmektedir. Tablo’da DYM’nin hem tüm topoğrafya hemde yalnızca eğimsiz topoğrafya’da sergilediği performanslar ayrı ayrı sunulmuştur. Eğimsiz ifadesi $\text{eğim} < \tan^{-1} 0.1$ ($\sim 6^\circ$) olan araziler için kullanılmıştır.

Fotogrametrik DYM (0.5 m)



GÖKTÜRK DYM (5 m)



Şekil 4. Göktürk-2 ve referans fotogrametrik DYM

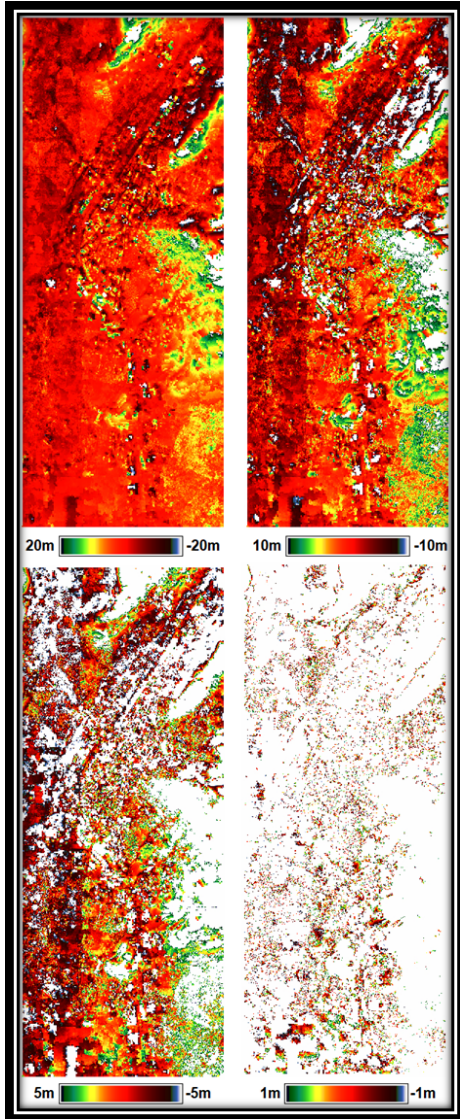
Tablo 3. Göktürk-2 DYM mutlak düşey konum doğruluğu

Referans DYM	Test edilen DYM	Sınıf	SZ (m)	NMAD (m)
Fotog. (0.5m)	Göktürk-2 (5m)	Tüm arazi	7.37	5.77
		Eğimsiz arazi	5.88	4.32

Tablo 3’te görüldüğü üzere Göktürk-2’nin uzay kaynaklı optik UA verilerinden elde edilen tüm DYM’lerde olduğu gibi eğimsiz alanlarda performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tüm arazi üzerinde yapılan analizlerde Göktürk-2’nin mutlak düşey konum doğruluğu SZ olarak 7.3 m mertebesinde iken NMAD olarak 5.7 m dolayındadır. Eğimsiz arazilerde ise her iki değer yaklaşık 1.5 m daha yüksek seviyededir.

Göktürk-2 ve referans fotogrametrik DYM arasındaki yükseklik farklarını renkli olarak yansıtan yükseklik hata haritaları Şekil 5'te görülmektedir. Haritalar görsel yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla ± 20 m, ± 10 m, ± 5 m ve ± 1 m'lik yükseklik hatalarını yansıtacak şekilde farklı versiyonda hazırlanmışlardır. Yükseklik hata haritalarından açık şekilde görülmektedir ki, Göktürk-2 DYM'nin en büyük sorunu topoğrafik eğimdir. Topoğrafik eğimin yüksek olduğu bölgelerde fotogrametrik DYM ile korelasyon bariz şekilde düşmektedir. Diğer bir problem, Derik kent merkezindeki dar sokaklarda göze çarpmaktadır. Dar sokakların bazıları gereken seviyede tasvir edilememiştir. Ancak, Göktürk-2'nin 2.5 m'lik mekansal çözünürlüğü göz önünde bulundurulduğunda bu doğal bir sonuçtur.

Diğer yandan, aşırı eğimli topoğrafya dışında kalan bölümlerde Göktürk-2'nin performansının oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle, ± 1 m hata sınırlı bölgeler incelendiğinde, Göktürk-2 stereo görüntülerinin 684 km irtifadan sunduğu performans takdire şayandır. Keza bu bölgelerde, 800 m irtifadan elde edilmiş fotogrametrik referans DYM ile Göktürk-2 arasındaki düşey topoğrafik tasvir farkı ≤ 1 m'dir.



Şekil 5. Farklı ölçeklerde yükseklik hata haritaları

5. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışma ile Türkiye'nin ikinci yerli yapım yer gözlem uydusu olan Göktürk-2 2.5 m mekansal çözünürlüklü stereo uydusu görüntülerinden üretilen 5 m gridli DYM'lerin yatay ve düşey mutlak konum doğruluğu performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler, topoğrafik eğimi oldukça değişken olan Mardin İli Derik İlçesinde, fotogrametrik DYM referanslığında görsel ve istatistiksel yöntemlerle yapılmıştır.

Standart sapma ve normalize medyan mutlak sapma metrikleri temelinde gerçekleştirilen istatistiksel doğruluk analizleri ve yükseklik hata haritaları ışığında yapılan görsel yorumlamalar sonucunda Göktürk-2 uydusunun 2.5 m düzeyindeki orta mekansal çözünürlüğüne rağmen üç boyutlu topoğrafik tasvir yeteneğinin oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Uydusu yatayda her iki yönde ≤ 0.1 pixel mutlak konum doğruluğuna sahiptir. Düşeyde ise 7.3 m standard sapma ve 5.7 m dolayında normalize medyan mutlak sapma olarak doğruluk sunmaktadır.

Uydunun en büyük sorunu topoğrafik eğimin sertleştiği bölgelerdedir. Keza, eğimsiz bölgelerde düşey doğruluk seviyesinin hem standard sapma hem normalize medyan mutlak sapma olarak 1.5 m daha iyi seviyede olduğu tespit edilmiştir. Üretilen yükseklik hata haritalarında da bu durum açık şekilde görselleştirilmiştir. Yükseklik hata haritaları, Göktürk-2 uydusu verilerinin kent merkezlerindeki dar sokaklarda da problemler yaşadığını ortaya koymuştur. Çalışma ekibimizin bir sonraki hedefi dar sokaklarda tespit edilen bu problemlerin ana kaynaklarını bulup filtreleme algoritmaları ile görüntü iyileştirmeleri yaparak uydunun topoğrafik tasvir performansının artırılmasına yönelik olacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan Göktürk-2 stereo uydusu görüntülerinin temininde yardımcı olan Hava Kuvvetleri Komutanlığı İstihbarat Başkanlığı'na, tüm askeri personeline; çalışmada kullanılan fotogrametrik DYM'nin elde edildiği hava fotoğraflarının temininde yardımcı olan tüm MAS Havacılık Çözümleri A.Ş. personeline teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Aguilar F J, Mills J P, Delgado J, Aguilar M A, Negreiros J G, Perez J L (2010), Modelling vertical error in Lidar-derived digital elevation models, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1):103–110.

Fraser C S (2003), Prospects for mapping from high-resolution satellite imagery, *Asian Journal of Geoinformatics*, 4(1): 3–10.

Font M, Amorese D, Lagarde J L (2010), DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: the Normandy intraplate area (NW France), *Geomorphology*, 119(3–4): 172–180.

Hellerstein J M (2008), Quantitative Data Cleaning for Large Databases, Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), p. 42.

Hladik C, Alber M (2012), Accuracy assessment and correction of a LIDAR-derived salt marsh digital elevation model, *Remote Sensing of Environment*, 121:224–235.

Hobi M L, Ginzler C (2012), Accuracy assessment of digital surface models based on WorldView-2 and ADS80 stereo remote sensing data, *Sensors*, 12(5): 6347–6368.

Navalgund R R, Jayaraman V, Roy P S (2007), Remote sensing applications: an overview, *Current Science*, 93(12): 1747–1766.

Sefercik U G, Alkan M, Büyüksalih G, Jacobsen K (2013), Generation and Validation of High-Resolution DEMs from Worldview-2 Stereo Data, *The Photogrammetric Record*, Wiley Blackwell (ISI), 28(144): 362-374.

Sterenczak K, Kozak J (2011), Evaluation of digital terrain models generated in forest conditions from airborne laser scanning data acquired in two seasons, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(4): 374–384.

Yüksel G, Tunalı E, Gürol S, Leloğlu U M (2016), TÜBİTAK-UZAY yer gözlem uydusu çalışmaları ve görüntü temin politikaları, UZAL-CBS 2016 Sempozyumu, Adana

Zhao S M, Cheng W M, Zhou C H, Chen X, Zhang S, Zhou Z, Liu H, Chai H (2011), Accuracy assessment of the ASTER GDEM and SRTM3 DEM: An example in the Loess Plateau and North China Plain of China, *International Journal of Remote Sensing*, 32(23): 8081–8093.