Google Earth Uydu Görüntülerinin Konumsal Doğruluğu

(Geospatial Accuracy of Google Earth Imagery)

Veysel Okan ATAK 🕩

Hava Kuvvetleri İstihbarat Başkanlığı, Bakanlıklar, Ankara. voatak@hvkk.tsk.tr

Geliş Tarihi (Received): 07.06.2018

Kabul Tarihi (Accepted): 20.11.2018

ÖΖ

Google Earth (GE) programı bilim dünyası tarafından uydu görüntülerinin ortorektifikasyonu, haritacılık, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), çevre ve şehircilik, tapu kadastro, ulaştırma, ormancılık, tarım vb. birçok uygulama alanında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. GE programında yer alan görüntülerin koordinat doğruluğu, çok yüksek çözünürlüklü uydu teknolojilerinin gelişmesi ve buna bağlı olarak konumsal doğrulukların iyileşmesi sonucunda ileri seviyelere ulaşmıştır. Her ne kadar 2008 yılından sonra GE programına yüklenen görüntülerin daha iyi konumsal doğruluğa sahip olduğu bilinse de, GE programında koordinat okumadan önce çalışma yapılacak bölgede bir doğruluk analizinin yapılması birçok araştırmacı tarafından tavsiye edilmektedir. Bu makalede, GE programında yer alan uydu görüntüleri kullanılarak Türkiye ve yakın çevresinde yapılacak uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken yatay konumsal doğruluk değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen 5 m'lik yatay ve 14 m'lik düşey konumsal doğruluk değerleri, düşük maliyeti ve yaygın kullanımı sayesinde GE programının birçok CBS uygulamasında da başarılı bir sekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Google Earth, Uydu Görüntüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Konumsal Doğruluk.

ABSTRACT

The Google Earth (GE) program is commonly used effectively for orthorectification of satellite imagery, mapping, geographical information systems (GIS), environment and city planning, land registry, transportation, forestry, agriculture etc. by the scientific community.

Geospatial accuracy of images in the GE program has reached a high level as a result of the development of very high resolution satellite technologies and correspondingly improved positional accuracy. Although it is known that images uploaded to the GE program after 2008 have better positional accuracy, it is advised by many researchers to conduct an accuracy analysis on the area to be studied before reading the coordinates on the GE.

In this article, it is studied to determine the horizontal geospatial accuracies should be taken into consideration in applications around Turkey and its close vicinity using satellite imagery in the GE program. The obtained 5 m horizontal and 14 m vertical positional accuracy values have shown that the GE program can be successfully used in many GIS applications due to low cost and widespread use.

Key Words: Google Earth, Satellite Imagery, Geographical Information Systems, Geospatial Accuracy.

1. GİRİŞ

Uydu ve uzay teknolojileri konusunda bilgi birikimi / tecrübe sahibi olmak ve bunları hayata geçirebilmek dünyada çok az ülkenin sahip olduğu yeteneklerdir. Uydu ve uzav teknolojilerine son yıllarda büyük ağırlık veren ülkemiz; BİLSAT, RASAT, GÖKTÜRK-2 ve GÖKTÜRK-1 uyduları ile bu alanda büyük ve önemli adımlar atmıştır. Özellikle GÖKTÜRK-2 ve GÖKTÜRK-1 projeleri ile uydu sistemlerine yönelik teknoloji, uzman insan gücü ve alt yapının geliştirilmesi ile başta TSK olmak üzere tüm kamu kurum ve kuruluşlarının farklı ihtiyaçlarının milli imkân ve kabiliyetlerle karşılanması hedeflenmiştir (Atak, Erdoğan ve Yılmaz, 2015).

Uydu ve uzay teknolojilerine sahip olmak kadar, bu teknolojilerden elde edilen ürünlerin ve görüntülerin hızlı bir şekilde hem ticari kullanıcılara hem de geniş kitlelere ulaştırılması da büyük önem taşımaktadır. Günlük olarak yüzlerce görüntü çekme kapasitesine sahip bir çok uydu sisteminin uzayda görev yapar hale gelmesi, görüntülerin hızlı bir şekilde işlenmesini (mümkünse otomatik olarak), depolanmasını ve vetkilendirilmiş kullanıcılara göre farklılık arz gizlilik sevivelerinde sunulmasını eden sağlayacak yeni teknolojilerin geliştirilmesine yol acmıştır.

Hızlı görüntü işleme ihtiyacı 05 Aralık 2016 tarihinde uzaya fırlatılan GÖKTÜRK-1 projesi kapsamında da dikkate alınmış ve ileri seviye görüntü işleme çalışmalarının otomatik olarak gerçekleştirilmesi amacıyla Erdas Imagine görüntü işleme yazılımına eklenebilen yama programlar geliştirilmiştir. Temel seviyede elde edilen görüntüler bu program sayesinde kullanıcı destekli olarak otomatiğe yakın adımlar vasıtasıyla işlenebilmekte ve eş zamanlı arşive depolanabilmektedir.

Atıf/To cite this article: Atak, V.O. (2019). Google Earth Uydu Görüntülerinin Konumsal Doğruluğu. Harita Dergisi, 161, 11-25.

Yüksek boyutlara sahip çok sayıdaki uydu görüntüsünün kullanıcılar tarafından görüntülenebilmesi veya erişilebilmesi için kullanılabilecek en etkin yol ağ (web) servisleridir. Dünya çapında her kullanıcı tarafından kolaylıkla erişilebilen web harita / detay / katalog servisleri sayesinde veri ve bilgi paylaşımı eskisine göre çok daha hızlı ve kolay olmaktadır. Web servisleri içerisinde en popüler ve yaygın olanı, görüntü sunumu hizmeti veren GE programıdır.

Quickbird, Ikonos, Pleiades, Worldview vb. uyduların devreye girmesi sonrasında yüksek çözünürlüklü uyduların kullanımı olağanüstü derecede artmış ve hava fotoğraflarının tahtını sarsmıştır. Kullanımı artmakla birlikte, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin maliyetinin yüksek oluşu, Google Earth'ün kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır. Kişisel kullanım açısından GE programı ürünlerinin ücretsiz olması ve erişiminin kolaylığı, GE programının akademik ve amaçlara yönelik günlük kullanımını da günümüzde iyice artırmaktadır. Güncel harita ihtiyacını uydu görüntüleriyle gideren GE programı, diğer Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımları coărafi bilainin erisilebilirliăi. ile birlikte otomasyonu ve dijital olarak üretilmesine katkı sağlamaktadır. Ancak GE programı akademik için kullanıldığında, çalışmalar konumsal doğruluk daha büyük bir önem kazanmaktadır (Karaçetin, Sunar ve Şıpka, 2010).

Bu çalışmanın amacı, GE programında yer alan uydu görüntüleri kullanılarak Türkiye ve yakın çevresinde yapılacak her türlü çalışmalarda göz önünde bulundurulması gereken özellikle yatay konumsal doğruluk değerlerini ortaya koymak ve bu amaçla iki test alanında gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen sonuçları paylaşmaktır.

2. GOOGLE EARTH PROGRAMI VE ÖZELLIKLERİ

Orijinal adı 3 Boyutlu (3B) Yeryüzü Görüntüleme (Earth Viewer 3D) olan Google Earth, Google tarafından 2004 yılında satın alınan ve ABD Merkezi Haberalma Teşkilatı (CIA) tarafından kurulmuş olan Keyhole adlı bir şirketin geliştirdiği harita ve coğrafi bilgi yazılımıdır. 2005 yılında piyasaya sürülen ve ücretsiz olarak her bilgisayar sistemine (PC, Mac ve Linux) yüklenebilen GE programı, uydu görüntüleri, haritalar, yeryüzü modelleri, 3B binalar ve diğer veriler sayesinde kullanıcılara dünyanın daha gerçekçi bir görünümünü sağlamayı amaçlamaktadır (Mohammed, Ghazi ve Mustafa, 2013). GE programı yeryüzünü yüksekte yer alan bir uçak veya uydu platformundan bakılıyormuş gibi gösterir. Bu efekti sağlamak için Genel Perspektif adı verilen ve Ortografik Projeksiyon ile benzerlik gösteren bir projeksiyon kullanılır. Program görüntü olarak uydu, hava fotoğrafı ve 3B küre görüntülerini, yükseklik bilgisi olarak da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verilerini kullanır (Mohammed ve diğerleri, 2013).

GE programında yer alan yatay coğrafi koordinatlar (enlem / boylam), Küresel Konumlama Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System – GNSS) tarafından da kullanılan Dünya Jeodezik Sistemi - 1984 (World Geodetic System – WGS84) datumunda, yükseklik bilgileri ise WGS84 Yeryüzü Jeoid Modeli – 1996 (Earth Geoid Model - EGM96) düşey datumunda yayınlanmaktadır (Hernandez, Castillo, Cortina ve Becerra, 2013), (Karaçetin ve diğerleri, 2010).

Programın dosya formatı KML'dir (Keyhole Markup Language). Bu format, hem nokta, çizgi, alan, görüntü gibi coğrafi detayları modellemek ve kaydetmek için hem de bu detayları / bilgileri Google Earth, Google Maps, Google Street View vd. uygulamalar vasıtasıyla görüntülemek ve diğer kullanıcılarla paylaşmak amacıyla kullanılabilir (Mohammed ve diğerleri, 2013).

GE programı veri tabanında, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile birlikte;

• 1972 yılında 30 m çözünürlüklü olarak her iki haftada bir yeryüzünü kapsamaya başlayan ve günümüzde daha gelişmiş pan / multispektral / termal kameralara sahip **Landsat** (Şekil 1),



Şekil 1. Landsat (30 m) ("Google Earth Datasets", 2018)

• Her hava ve aydınlanma koşulunda, 30 – 120 m çözünürlüklü olarak C-bandında ve HV ve VV polarizasyon modlarında Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar - SAR) verileri olan **Sentinel**,

• 1999 yılından beri NASA'nın Terra ve Aqua uyduları üzerinde bulunan Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometre (The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS) algılayıcıları ile 250 m çözünürlükle günlük olarak çekilerek hızlıca işlenen 6-12 saatlik güncelliğe sahip ("Google Earth Imagery", 2014) olarak sunulan **MODIS**,

• Şehir yönetimlerinden temin edilen ve yüksek çözünürlüğe sahip özel kameralarla uçaklardan, balonlardan, insansız hava araçlarından (İHA) ve hatta uçurtmalardan alınan hava fotoğrafları ("Google Earth Imagery", 2014) ile 2003 yılından beri her yıl neredeyse ülkenin tamamını kapsayan ve ABD Tarım Görüntüleme Programından (The US National Agriculture Imagery Program - NAIP) elde edilen 1 m çözünürlüğe sahip **Hava Fotoğrafları**,

• 1992 yılından beri sürekli olarak ABD Savunma Meteorolojik Uydu Programı Operasyonel Tarama Sisteminden (the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System - DMSP-OLS) elde edilen gece görüntüleri ve buna benzer **Diğer Uydu** görüntüleri yer almaktadır ("Google Earth Datasets", 2018).

Söz konusu uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları alındıktan sonra bunların GE kullanıcılarına sunulması için işlenmesi gerekir ve bu zaman alıcı bir süreçtir. Bu işlemler çerçevesinde ilk olarak, alınan yeni görüntünün mevcut verilerden daha iyi olup olmadığına bakılır. Bu işlem mümkün olduğunca bilgisayarlar yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmeye çalışılır. Ancak kalabalık nüfusa sahip önemli alanlarda kontrol ve doğrulama zaman alır. Bu sonrasında işlenecek kontrol görüntü seçildiğinde, öncelikle GE programı veri koordinat tabanının format ve sistemine dönüştürülür ("Google Earth Imagery", 2014). Uydu görüntüleri daha sonra ortorektifikasyon adını verdiğimiz konumlandırma işlemine tabi tutulur. Bu işlemde arazinin sayısal yükseklik modeli, görüntü alım anındaki konum bilgisi ve çekim açısı kullanılır. GE programında kullanılan sayısal yükseklik modelinin doğruluğu bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu nedenle, söz konusu işlemin her zaman başarılı olduğu söylenemez. Özellikle dağlık bölgelerde bazı kaymalarla ve

ölçüm işlemlerinde hatırı sayılır hatalarla karşılaşılabileceği göz önünde bulundurulmalıdır ("Google Earth Measurement", 2015).

Dönüşüm ve ortorektifikasyonun ardından programı veri tabanlarına görüntüler GE yüklenmeden ve dağıtılmadan önce kalite kontrol servisinden de geçirilerek onaylanır. Bu işlemler nedeniyle güncellemeler genellikle 30 günde bir vapılabilir ve kullanıcılar her bölgede 6 avdan yeni görüntüyü daha GE programinda bulamayabilirler. Görüntülerin tarihleri büyük ölçüde değişkenlik gösterse de, yüksek çözünürlüklü görüntülerin çoğu 6 ay ile 5 yıl arasında bir geçmişe sahiptir ("Google Earth Imagery", 2014).

Google, haritalama çalışmalarında kullandığı uydu görüntülerini daha keskin ve detaylı olan verilerle sık sık güncellemektedir. Google son 12 ay içerisinde; 3 milyar insanın yaşadığı bölgeleri kapsayan 2 / 3 boyutlu yeni görüntüleri sisteme yüklediğini, dünya nüfusunun %40'ını ve 400 şehir bölgesini kapsayan 3 boyutlu yüksek çözünürlüklü yeni görüntülerin bu amaçla çekildiğini ve bu verilerle birlikte GE programının 190 milyon kez kullanıldığını ifade etmektedir ("Google Earth Updated", 2018).

Artan popülaritesinin bir sonucu olarak, GE programı bilim dünyası tarafından yaygın birçok uygulama yanında; uydu görüntülerinin ortorektifikasyonu için Yer Kontrol Noktası (YKN) toplamak, şehir bitki örtüsünü tahmin etmek, bilimsel araştırmaların çıktılarını sunmak, toprak kaymalarını haritalamak, arazi örtüsü veri tabanını oluşturmak vb. çalışmalarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Hernandez ve diğerleri, 2013).

Ancak, Hindistan ve Irak gibi kimi hassas bölgelerde teröristlerin saldırı planlarını GE programından faydalanarak yaptığının ortaya cıkması endişeleri artırmış ve birçok kişi / kurum Google'a başvurarak kendilerine ait kimi alanların bu haritalardan çıkartılmasını istemiştir. Hatta bazı ülkeler belli "hassas" bölgelerin uydu görüntülerinde gizlenmesini harita sağlayıcılardan hukuki olarak talep etmiştir. Bunların bir kısmı hassas kişilere ait özel mülke, askeri anlamda stratejik alana ve ulusal güvenlik gerekçesiyle ne olduğu bile bilinmeyen bölgelere aittir. Google da kendine gelen uyarı, istek ve şikayetler doğrultusunda kimi alanları haritalarından dijital olarak silmiş ya da mozaikleyerek anlaşılmaz hale getirmiştir Sansür", 2008), ("Google'da ("Google Haritasındaki Hayalet", 2016), ("Google Maps'te Türkiye", 2018).

Güvenlik ve gizlilik politikaları sebebiyle GE'de kullanılan görüntüler ile ilgili ayrıntılı bilgiler yayınlanmadığından, günümüzde birçok yazar farklı uygulamarda GE programı kullanımı nedeniyle oluşabilecek belirsizlikleri azaltmak ve bunları anlamak için doğruluk ve hassasiyet calısmalara yönelik kullanım aerektiren analizinin öncesinde doğruluk vapılması gerektiğini ifade etmektedir (Potere, 2008) (Yu ve Gong, 2012).

Her ne kadar Google temsilcileri, GE tarafından sağlanan koordinatların yaklaşık olduğunu ve bu nedenle de coğrafi bilgi ürünlerinin doğruluğu konusunda herhangi bir iddiaları bulunmadığını belirtseler de (Benker, vd., 2011), Meksika Coğrafya ve İstatistik Kurumu (the Mexican National Institute for Geography and Statistics- INEGI) ve ABD Konumsal İstihbarat Ajansından (the USA National Geospatial-Intelligence Agency-NGA) aldıkları verilerle kendi coğrafi ürünlerinin doğruluğunu artırmayı amaçlayan ve Temel Doğruluk (Ground Truth) adı verilen bir projeyi 2008 yılında başlatmışlardır (Hernandez ve diğerleri, 2013).

Bu çerçevede global düzeyde yapılan birçok araştırmada; Potere (2008) Landsat uydu görüntülerinden elde ettiği YKN'leri kullanarak, Becek ve İbrahim (2011) ise farklı kaynaklardan elde ettikleri demiryolu hatlarını referans kabul ederek GE'in yatay konumsal doğruluğunu test etmişler ve 39.7 m ile 113 m'lik Karesel Ortalama Hata (KOH - Roor Mean Square Error / RMSE) değerlerine ulaşmışlardır (Hernandez ve çalışmalarda diğerleri, 2013). Ancak, bu kullanılan görüntülerin çoğunlukla "Ground Truth" projesi öncesindeki verileri kapsadığı görülmektedir.

Yerel düzeyde daha güncel ve çok yüksek çözünürlüklü GE görüntüleri kullanılarak yapılan araştırmalarda ise;

• Benker, Langford ve Pavlis (2011), Texas (ABD) bölgesinde yüksek hassasiyetli (<1m) arazi ölçümleri yaparak yatay düzlemde 6.95 m'lik ortalama ve 2.64 m'lik karesel ortalama hata değerini,

• Yousefzadeh ve Mojaradi (2012), Güney İran bölgesinde yer alan 215 km²'lik alanda 1:2.000 ölçekli haritalardan okunan 13 kontrol noktası (check point) ile yatay düzlemde 4.80 m'lik ortalama ve 6.10 m'lik karesel ortalama hata değerini, • Pulighe, Baiocchi ve Lupia (2016) ise, Roma (İtalya) bölgesine ilişkin 2007, 2011 ve 2013 yıllarına ait GE görüntülerini kullanılarak ve GNSS ölçüleri ile kadastral fotogrametrik vektör verileri bağımsız kontrol noktası (KN) olarak seçerek, 1 m değerine yakın bir genel konumsal doğruluk seviyesini tespit etmişlerdir.

Bununla birlikte, GE programında yer alan özellikle Digital Globe firmasına ait çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin (Worldview 1-2-3-4 ve Geoeye gibi) konum doğruluğunun, yükseklik verisinden gelen hatalar göz ardı edildiğinde ve YKN kullanılmaksızın 5 m değerinin altına indiği de bilinmektedir ("High Resolution Satellite", 2018).

Ancak, uygulanan metodoloji ve sınırlı sayıdaki KN nedeniyle bu yerel çalışmalar geçerli bir doğruluk araştırmasından ziyade istatistiksel bir uygulama olarak değerlendirilmelidirler. Bununla birlikte, hem 2008 öncesi hem de 2008 sonrası görüntüler kullanılarak yapılan araştırmalar, 2008 yılından sonra GE programına yüklenen görüntülerin çok daha iyi konumsal doğruluklara sahip olduğunu da kanıtlamaktadır (Hernandez ve diğerleri, 2013).

3. TEST ALANLARI

Bu çalışma kapsamında iki farklı bölgede konumsal doğruluk araştırması gerçekleştirilmiştir. Alan seçiminde düz alanlardan ziyade eğimli alanlar tercih edilmeye çalışılmıştır. Çünkü eğimli araziler, hava ve uzay görüntülerin konumsal doăruluk kavnaklı açısından değerlendirilmeleri için en uygun yerlerdir. Bu değerlendirmeler düz alanlarda gerçekleştirildiğinde oldukça iyi sonuçlar elde edilebiliyorken, eğimli arazilerde daha kaba sonuçlar elde edilebilmektedir (Bayık ve diğerleri, 2016).

Çalışma yapılan alanlardan birincisi, bilgileri Bülent Ecevit Üniversitesi'nden temin edilen Zonguldak test alanıdır. Zonguldak ve çevresini içeren test alanı 20 x 18 km² boyutlarında olup, alanda deniz seviyesi ile 900 m arasında yükseklik farkları ve % 90'a varan eğimli alanlar mevcuttur. Zonguldak ve çevresi; orman, deniz, nehir ve yerleşim alanı gibi farklı arazi türlerinin yanı sıra açık maden işletme alanları, termik santraller ve bunları çevreleyen yapılar gibi farklı yapı tipleri içermesi nedeniyle uzaktan algılama sistemlerinin başarım araştırmaları için oldukça uygun bir test alanıdır. Bu alanda; sistematik geometrik hataların giderilmesi, 2 ve 3 boyutlu konum doğruluğunun belirlenmesi, Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretimi ve doğrulaması, ortogörüntü üretimi, bilgi içeriği değerlendirmesi, görüntü sınıflandırma, otomatik özellik çıkarımı ve nesne tanıma, pankeskinleştirme, arazi örtü/kullanım türlerinin değişim analizi ve deformasyonların izlenmesi gibi çalışmaları içeren 120'den fazla bilimsel makale yayınlanmıştır.

Bu çalışmalarda; ASTER, BİLSAT, IKONOS-2, IRS-1C, KOMPSAT-1, KVR-1000, Landsat-3-5-7, Orbview-3, QuickBird, Pléiades-1A, SPOT-5, TK-350, WorldView-1 ve RASAT gibi optik görüntüler ile JERS-1, TerraSAR-X, PALSAR ve SRTM gibi radar verileri kullanılmıştır (Bayık ve diğerleri, 2016) (Şekil 2).



Şekil 2. Zonguldak test alanı

Söz konusu çalışmalarla birlikte Zonguldak ve çevresi test alanı, 05 Aralık 2016 tarihinde uzaya fırlatılarak yörüngeye yerleştirilen Göktürk-1 uydu görüntülerinden yatay ve düşey konumsal doğruluk değerlerinin tespiti, stereo görüntülerin oluşturulması ve sayısal yükseklik modeli üretimi konularında gerçekleştirilen test çalışmalarında da kullanılmıştır.

Çalışma yapılan diğer bölge ise, TerraSAR-X uydu görüntülerinden elde edilen noktaların kullanıldığı ve Türkiye ile çevre bölgesini içeren geniş bir coğrafyayı kapsamaktadır. Bu test alanında kullanılan YKN'lerin elde edilme tekniği ve özellikleri, test alanının dağınık bir coğrafyaya ve büyük bir alana yayılmasına sebep olmuştur. Söz konusu YKN'ler şehir bölgeleri ile Zonguldak alanından farklı olarak tarım arazilerinde yer almakta olup, bölgedeki yükseklik değerleri deniz seviyesi ile 1300 m arasında değişmektedir.

4. REFERANS VERILER

a. GNSS ile Ölçülen YKN'ler

Zonguldak test alanında 2002, 2003, 2008 ve 2013 yıllarında gerçekleştirilen GNSS ölçüleri ile konumları belirlenen yüksek doğruluklu YKN'ler kullanılmıştır. Bu çalışmalarda zamana bağlı şekil değişimlerinin en az yaşanabileceği simetrik nesneler YKN olarak seçilmiştir (Topan, Oruç, Özendi ve Cam, 2014). YKN koordinatları ile birlikte YKN'lerin görüntü koordinat bilgilerinin üzerine kaydedildiği bir Pleiades görüntüsü de temin edilmiştir. Söz konusu Pleiades görüntüsü, YKN'lerin görüntü koordinatları PCI ve yazılımında oluşturulmuş proje dosyaları ile birlikte kullanıldığında, YKN'nin konumunun hassas olarak belirlenmesini sağlamıştır.

Araştırmada toplam 171 adet referans YKN kullanılmış olup, örnek YKN'ler Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 3. Zonguldak test alanında ölçülen nokta



Şekil 4. Zonguldak test alanında ölçülen nokta

b. TerraSAR-X (TSX) YKN'ler

Günümüze dek YKN'ler sadece hava fotoğraflarından, LIDAR görüntülerinden ya da GNSS vb. yer ölçmelerinden üretilmekteydi. Ancak günümüzde, 15 Haziran 2007 tarihinde kamu finansmanı ile uzaya fırlatılan ve 1 m'den daha iyi çözünürlüğe sahip Almanya'nın ilk ticari radar uvdusu olan TerraSAR-X uvdusu kullanılarak YKN üretimi aörüntüleri da yapılabilmektedir. Bu kapsamda, Türkiye ve çevresine ilişkin ikinci test alanında TerraSAR-X (TSX) YKN'leri kullanılmıştır.

TSX YKN'leri, farklı açılardan çekilmiş stereo özelliğe sahip yüksek çözünürlüklü 3 spot radar (SpotLight) görüntüsünden 20 km²'lik bir alanda 5 adet (GEO GCP-1) ya da farklı açılardan çekilmiş 2 şerit radar (StripMap) görüntüsünden 1,000 km2'lik bir alanda 10 adet (GEO GCP-3) olacak şekilde üretilebilmektedir. Üretim esnasında stereo uydu görüntüleri üzerinde belirlenen detayların koordinatları manuel olarak okunmaktadır. Seçilen detayların hem optik hem de radar görüntüler üzerinde kolaylıkla görülebilir ve tespit edilebilir olmasına dikkat edilmektedir. Bu çerçevede özellikle sokak lambaları, enerji direkleri, yol kesişim noktaları, duvar köşeleri ve mikrodalga saçılım gösteren belirgin metal objeler tercih edilmektedir (Airbus Defence, 2015) (Şekil 5).



Şekil 5. TSX YKN'si SAR ve optik görüntüsü (Airbus Defence, 2015)

Hava koşullarından ve gün ışığından bağımsız olarak görüntü alan TSX radar uydu sisteminden üretilen YKN'ler, temel olarak hassas ortofoto üretimi ve nesne konumlandırma çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Spot radar (SpotLight) görüntülerden üretilen GEO GCP-1 YKN'lerin yatay / düşey karesel ortalama hataları \pm 1 m ve 0.5 m, şerit görüntülerden üretilen GEO GCP-3 YKN'lerin yatay / düşey karesel ortalama hataları ise \pm 3 m'den daha iyi olarak tanımlanmıştır (Airbus Defence, 2015).

Bu kapsamda araştırmada, yatay ve düşey doğruluğu ± 1 m ve 0.5 m olarak belirtilen 128 adet GEO GCP-1 YKN'leri kullanılmış olup, YKN'ler ile birlikte noktaya ilişkin bir küçük görüntü parçası ve bir de kroki sağlanmıştır. Araştırmada kullanılan örnek TSX görüntü parçacıkları ile YKN kroki çizimleri Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. TSX YKN'si ve kroki görüntüsü



Şekil 7. TSX YKN'si ve kroki görüntüsü

5. YAPILAN ÖLÇÜLER VE METODOLOJİ

Bu çalışmada, "Ground Truth" projesi öncesinde GE programında yer alan verilerin çözünürlüğünün düşük konumsal ve doğruluğunun belirsiz olması nedeniyle, 2009 yılı ve sonrasına ait uydu görüntüleri kullanılmıştır. Calışma kapsamında hem yatay hem de düşey konumsal doğruluklar incelenmiştir. Ancak, çalışmadaki asıl amaç yatay konumsal doğruluk değerlerini araştırmaktır. Çünkü GE programında bulunan düşey veri, çalışma yapılan 2018 yılında sistemde yüklü bulunan SRTM verisidir. Bu nedenle yükseklik ölçülerinden elde edilen farklar sadece an itibarı ile yüklü bulunan düşey veriden farkları ortaya koymaktadır. Bununla birlikte düşey düzlemde elde edilen farklar da sonuç tablolarında sunulmuştur.

Çalışmada öncelikle YKN'lerin koordinatları GE görüntüleri üzerine atılmış, krokiler ve (Zonguldak test alanı için) görüntü koordinat bilgileri vasıtası ile YKN'nin konumu hassas bir şekilde saptanmış, sonrasında da GE programının zaman skalası kullanılarak 2009 yılı ve sonrasına ait görüntülerde YKN'nin yatay ve düşey koordinatları okunmuştur. Bu çerçevede bir noktaya ilişkin en fazla 6 farklı görüntüden okuma yapılabilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında YKN'lere ilişkin koordinatlar 2009 yılı ve sonrasına ilişkin farklı yıllara ait görüntüler üzerinde okunmuş ve her bir referans koordinat değerlerinden okuma çıkarılarak ortalama, mutlak ortalama ve 3 o aralığında (% 99.73 güven aralığında) KOH deăerleri hesaplanmıstır. Bu asamada gerçekleştirilen yatay ve düşey ortalama / mutlak ortalama fark hesaplamaları ve formüllerde yer alan ifadelerin tanımları aşağıda sunulmuştur. Öncelikle her formülde yar alan;

i; Her bir noktaya ilişkin olacak şekilde 1'den n değerine kadar giden tam sayıları,

j; Her bir farklı görüntü yılına ilişkin olacak şekilde ve en fazla 6 değerine ulaşan tam sayıları,

n; Her bir farklı görüntü yılında okunan nokta sayılarını tanımlamaktadır.

$$\Delta_{Xl, j} = X_{veri, l} - X_{referans, l}$$

$$\Delta_{Yl, j} = Y_{veri, l} - Y_{referans, l}$$
 (1)

$$\Delta Z_{i,j} = Z_{veri,i} - Z_{referans,i}$$

 $X_{veri,i}$ - $Y_{veri,i}$ - $Z_{veri,i}$; Okunan *i* noktasının X – Y - Z koordinatları,

 $X_{referans}$ - $Y_{referans}$ - $Z_{referans}$; Referans noktasının X - Y - Z koordinatları,

 $\Delta_{XI, j} - \Delta_{YI, j} - \Delta_{ZI, j}$; Her bir j okumasında, i noktasının X – Y – Z yönündeki farkları,

$$\Delta x_1 = (\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i+1,j} + \dots + \Delta x_{n,j}) / n$$

$$\Delta_{Y1} = (\Delta_{Yi, j} + \Delta_{Yi+1, j} + \dots + \Delta_{Yn, j}) / n$$
(2)

 $\Delta_{Z1} = (\Delta_{Zi, j} + \Delta_{Zi+1, j} + \dots + \Delta_{Zn, j}) / n$

 $\Delta_{X1} - \Delta_{Y1} - \Delta_{Z1}$; X – Y – Z yönündeki farkların ortalama hata değeri,

$$M\Delta_{X1} = (M\Delta_{Xi,j} + M\Delta_{Xi+1,j} + \dots + M\Delta_{Xn,j}) / n$$

$$M\Delta_{Y1} = (M\Delta_{Yi,j} + M\Delta_{Yi+1,j} + \dots + M\Delta_{Yn,j}) / n \qquad (3)$$

$$M\Delta_{Z1} = (M\Delta_{Zi, j} + M\Delta_{Zi+1, j} + \dots + M\Delta_{Zn, j}) / n$$

 $M\Delta_{Xl, j} - M\Delta_{Yl, j} - M\Delta_{Zl, j}$; Her bir j okumasında, i noktasının X – Y – Z yönündeki farklarının mutlak değerleri,

 $M\Delta_{X1} - M\Delta_{Y1} - M\Delta_{Z1}$; X – Y – Z yönündeki farkların mutlak ortalama hata değeri,

$$\Delta r_1 = \sqrt{(\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2)}$$
⁽⁴⁾

 $M\Delta r_1 = \sqrt{(M\Delta_{X1}^2 + M\Delta_{Y1}^2)}$

 Δr_1 , $M\Delta r_1$; Yatay düzlemde ortalama ve mutlak ortalama hata değerleri,

Calışmanın ikinci aşamasında ise, önce 2009 yılı ve sonrasına ilişkin farklı yıllara ait görüntüler üzerinde okunan koordinatların ortalama değerleri (Xort., Yort., Zort.) bulunmuş, sonra bu değerlerden referans koordinat değerleri çıkarılarak ortalama, mutlak ortalama ve 3 o aralığında (% 99.73 güven aralığında) KOH değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan terimler de birinci aşama ile aynıdır, sadece ayırt edici olması açısından ortalama hata değerlerinde "1" yerine "2" rakamı kullanılmıştır.

$$X_{ort., i} = (X_1 + X_2 + \dots + X_j) / j$$

$$Y_{Ort., i} = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_j) / j$$
(5)

$$Z_{Ort., i} = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_j) / j$$

$$\Delta x, i = X_{ort.} i - X_{referans.} i$$

$$\Delta y, i = Y_{ort.} i - Y_{referans.} i$$
(6)

$$\Delta_{Z, i} = Z_{ort., i} - Z_{referans, i}$$

$$\Delta_{X2} = (\Delta_{Xi} + \Delta_{Xi+1} + \dots + \Delta_{Xn}) / n$$
$$\Delta_{Y2} = (\Delta_{Yi} + \Delta_{Yi+1} + \dots + \Delta_{Yn}) / n$$

$$\Delta_{Z2} = (\Delta_{Zi} + \Delta_{Zi+1} + \dots + \Delta_{Zn}) / n$$

 $M\Delta_{X2} = (M\Delta_{Xi} + M\Delta_{Xi+1} + \dots + M\Delta_{Xn}) / n$

$$M\Delta_{Y2} = (M\Delta_{Yi} + M\Delta_{Y i+1} + \dots + M\Delta_{Yn}) / n$$
(8)

$$M\Delta_{Z2} = (M\Delta_{Zi} + M\Delta_{Zi+1} + \dots + M\Delta_{Zn}) / n$$

$$\Delta r_2 = \sqrt{\left(\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2\right)} \tag{9}$$

 $M\Delta r_2 = \sqrt{(M\Delta_{X2}^2 + M\Delta_{Y2}^2)}$

İkinci aşamanın gerçekleştirilmesinin sebebi, GE programı kullanılarak bir koordinat okuma ihtiyacı doğduğunda, ilgili noktaya ilişkin farklı yıllara ait görüntüler üzerinde okunacak koordinat değelerinin ortalaması alındığında da birinci aşama ile aynı hata değerlerine ulaşılacağının teyit edilmesidir.

Bu çerçevede gerçekleştirilen çalışmalarda, ortalama ve mutlak ortalama hata değerleri bulunduktan sonra KOH ve dairesel hata (DH -Circular Error / CE) değerleri ABD tarafından vavınlanmış Coğrafi Konumlama Doğruluk Standartları (Federal Geographic Data Committee. 1998) dokümanında yer alan eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.

KOH x =
$$\sqrt{\left[\sum_{i} (X_{veri, i} - X_{referans, i})^2 / n\right]}$$
 (10)

KOH y =
$$\sqrt{\left[\sum_{i} (Y_{veri, i} - Y_{referans, i})^2 / n\right]}$$
 (11)

KOH r =
$$\sqrt{(KOH x^2 + KOH y^2)}$$
 (12)

Bu değerlerle birlikte, % 95 güven seviyesindeki (DH95) yatay doğruluk, anizotropik olan ve anizotropik olmayan veriler için de hesaplanmıştır. FGDC (1998) Coğrafi Konumlama Doğruluk Standartları dokümanına göre;

• KOHx değeri KOHy değerine eşit değilse (KOHx ≠ KOHy) ve KOHmin ve KOHmax değerleri arasındaki oran 0.6 ile 1.0 aralığında ise yatay DH95 değeri;

$$DH95r \sim 2.4477 * 0.5 * (KOHx + KOHy)$$
 (13)

• KOHx değeri KOHy değerine eşit ise (KOHx = KOHy) yatay DH95 değeri;

$$DH95r \sim 1.7308 * KOHr$$
 (14)

Düşey DH95 değeri ise;

$$DH95z = 1.9600 * KOHz$$
 (15)

şeklinde hesaplanır.

Gerçekleştirilen iki aşamaya ilişkin hesaplamalara ilişkin tablolar Şekil 8 ve Şekil 9'da sunulmuştur.

(7)

BB3		•	f		TALAM	A(13;Q3;	Y3;AG3	;AO3;A	N3)																			
A	L.	J	K	L	Q	R	S	Т	Y	Z	AA	AB	AG	AH	AI	AJ	AO	AP	AQ	AR	AW	AX	AY	AZ	BB	BC	BD	BE
	Goo	gle Eart	h 1.0ku	ıma	God	gle Eart	th 2.0k	uma	Goo	gle Eart	h 3.Ok	uma	Go	ogle Ear	th 4.0k	uma	Goo	gle Eart	h 5.0k	uma	Goo	gle Eart	h 6.Oku	uma		Ortala	ma Farklar	
POINT ID	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-S	Fark-Y	Fark Yatay	Fark-H	Fark-E	Fark-N	Fark Yatay	Fark-H
1	-1,16	0,30	1,20	8,00	-3,24	-0,52	3,29	8,00	5,15	2,34	5,65	8,00	-2,46	-0,33	2,49	8,00	-0,75	0,08	0,76	8,00					-0,50	0,37	0,62	8,00
2	0,72	2,52	2,62	1,00	-2,31	3,26	4,00	1,00	3,13	1,92	3,67	1,00	-0,45	-1,28	1,36	1,00	-0,62	0,84	1,04	1,00	0,43	-0,74	0,86	1,00	0,15	1,09	1,10	1,00
3	-5,73	-1,54	5,94	-5,00	-0,76	1,17	1,40	-5,00	-2,68	-2,03	3,37	-5,00	-3,39	5,28	6,28	-5,00	-1,57	-0,24	1,59	-5,00	-1,14	2,25	2,52	-5,00	-2,55	0,82	2,68	-5,00
6	-0,60	3,92	3,97	8,00	-1,43	-0,45	1,50	8,00	4,53	-1,69	4,84	8,00	-3,05	0,27	3,06	8,00	-1,87	2,68	3,27	8,00	1,10	0,44	1,19	8,00	-0,22	0,86	0,89	8,00
14	-5,42	4,52	7,06	-2,00	-0,49	1,61	1,69	-2,00	1,18	-3,09	3,30	-2,00	2,44	1,60	2,92	-2,00	-1,39	-0,06	1,39	-2,00	-1,66	-1,00	1,94	-2,00	-0,89	0,60	1,08	-2,00
15	-1,68	2,03	2,63	4,00	-0,35	1,59	1,63	4,00	-3,34	0,43	3,37	4,00	3,86	3,49	5,21	4,00	-2,17	3,07	3,76	4,00	-0,34	1,51	1,55	4,00	-0,67	2,02	2,13	4,00
17	-2,98	4,44	5,35	12,00	-4,79	-0,72	4,84	12,00	1,69	-2,26	2,82	12,00	-5,69	-0,34	5,70	12,00	-4,98	-1,89	5,32	12,00	-3,16	4,13	5,20	12,00	-3,32	0,56	3,36	12,00
18	-2,94	-1,58	3,34	-1,00	-2,20	5,01	5,47	-1,00	1,47	2,63	3,01	-1,00	-0,86	-0,42	0,96	-1,00	-0,35	-3,50	3,52	-1,00	-0,60	-0,76	0,97	-1,00	-0,91	0,23	0,94	-1,00
19	-0,78	3,98	4,05	7,00	-0,45	0,86	0,97	7,00	3,14	-1,11	3,33	7,00	-4,62	1,45	4,85	7,00	-0,82	1,35	1,58	7,00	-0,53	0,54	0,76	7,00	-0,68	1,18	1,36	7,00
20	-3,48	1,62	3,83	2,00	-2,03	2,69	3,36	2,00	0,27	-0,70	0,76	2,00	-6,28	0,76	6,32	2,00	-4,09	3,22	5,20	2,00	-2,73	2,73	3,86	2,00	-3,05	1,72	3,50	2,00
21	-9,96	7,12	12,24	5,00	-4,27	2,24	4,82	5,00	-7,18	6,12	9,43	5,00	-4,36	5,98	7,40	5,00	-4,14	4,82	6,35	5,00	-4,14	4,82	6,35	5,00	-5,67	5,18	7,69	5,00
24	-0,42	7,92	7,93	-5,00	-2,06	0,05	2,06	-5,00	-3,73	8,77	9,53	-5,00	- 1 ,85	1,33	2,27	-5,00	-3,18	3,38	4,64	-5,00	-3,80	-1,37	4,04	-5,00	-2,50	3,35	4,18	-5,00
25	-4,65	-3,31	5,71	-5,00	2,00	3,73	4,23	-5,00	-0,68	-2,50	2,59	-5,00	-1,54	2,85	3,24	-5,00	-1,25	-6,39	6,51	-5,00	-1,85	-4,99	5,32	-5,00	-1,33	-1,77	2,21	-5,00
26	-1,15	0,25	1,17	3,00	1,28	-2,93	3,20	3,00	-2,94	0,70	3,02	3,00	-1,66	1,18	2,03	3,00	-1,53	-0,46	1,60	3,00	- 1 ,34	-0,15	1,35	3,00	-1,22	-0,24	1,24	3,00
27	-4,08	2,49	4,79	0,00	-0,67	-0,91	1,13	0,00	-5,09	3,94	6,44	0,00	-3,08	0,74	3,17	0,00	-3,08	0,74	3,17	0,00	-1,87	1,40	2,34	0,00	-2,98	1,40	3,30	0,00
28	-2,93	0,50	2,97	-4,00	-0,47	-1,26	1,34	-4,00	-1,98	6,11	6,42	-4,00	0,23	2,64	2,65	-4,00	-1,00	-0,65	1,19	-4,00	-1,00	-0,65	1,19	-4,00	-1,19	1,12	1,63	-4,00
30	-0,11	4,25	4,26	8,00	-1,16	-0,71	1,36	8,00	-2,92	-0,02	2,92	8,00	5,10	3,77	6,35	8,00	-1,42	1,92	2,39	8,00	-0,17	-0,05	0,17	8,00	-0,11	1,53	1,53	<mark>8,0</mark> 0

Şekil 8. Birinci aşamaya ilişkin ortalama hata hesaplaması (Her bir okumanın farklarından ortalama)

BO3		• (°	<i>f</i> _x =C	ORTALAMA	A(F3;N3;V3;A	AD3;AL	3;AT3)																					
A	В	С	D	F	G	Н	N	0	Р	V	W	Х	AD	AE	AF	AL	AM	AN	AT	AU	AV	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
POINT ID	ZONGULDAK GCP(UTM) Google Earth 1.0kuma G		Google	gle Earth 2.0kuma		Google Earth 3.0kuma		Google	Google Earth 4.0kuma		Google Earth 5.Okuma		Google Earth 6.Okum		uma	Ölçülerin Oralama Koordinat Değeri		ama ğeri	Ortalama Koordinatlardan Farklar									
	Sağa (m)	Yukarı (m)	H_Ort	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (m)	SAGA ORT.	YUKARI ORT.	H ORT.	Fark SAĞA	Fark YUK.	Fark- Yatay	Fark- H
1	388230	4583911	148	388229	4583911	156	388227	4583911	156	388235	4583913	156	388228	4583911	156	388229	4583911	156				388230	4583911	156	-0,50	0,37	0,62	8,00
2	388232	4583970	154	388233	4583973	155	388230	4583973	155	388235	4583972	155	388232	4583969	155	388231	4583971	155	388232	4583969	155	388232	4583971	155	0,15	1,09	1,10	1,00
3	389348	4584043	227	389342	4584041	222	389347	4584044	222	389345	4584041	222	389344	4584048	222	389346	4584042	222	389347	4584045	222	389345	4584043	222	-2,55	0,82	2,68	-5,00
6	389819	4584379	7	389818	4584383	15	389817	4584379	15	389823	4584378	15	389816	4584380	15	389817	4584382	15	389820	4584380	15	389819	4584380	15	-0,22	0,86	0,89	8,00
14	390834	4585087	164	390829	4585092	162	390834	4585089	162	390835	4585084	162	390837	4585089	162	390833	4585087	162	390832	4585086	162	390833	4585088	162	-0,89	0,60	1,08	-2,00
15	390942	4585209	170	390940	4585211	174	390942	4585211	174	390939	4585210	174	390946	4585213	174	390940	4585212	174	390942	4585211	174	390941	4585211	174	-0,67	2,02	2,13	4,00
17	391529	4585303	188	391526	4585308	200	391524	4585302	200	391531	4585301	200	391524	4585303	200	391524	4585301	200	391526	4585307	200	391526	4585304	200	-3,32	0,56	3,36	12,00
18	391665	4585641	201	391662	4585639	200	391663	4585646	200	391667	4585644	200	391664	4585640	200	391665	4585637	200	391665	4585640	200	391664	4585641	200	-0,91	0,23	0,94	-1,00
19	391773	4585594	201	391773	4585598	208	391773	4585595	208	391777	4585593	208	391769	4585595	208	391773	4585595	208	391773	4585594	208	391773	4585595	208	-0,68	1,18	1,36	7,00
20	391443	4585826	141	391439	4585828	143	391441	4585829	143	391443	4585825	143	391437	4585827	143	391439	4585829	143	391440	4585829	143	391440	4585828	143	-3,05	1,72	3,50	2,00
21	392242	4583869	330	392233	4583876	335	392238	4583871	335	392235	4583875	335	392238	4583875	335	392238	4583874	335	392238	4583874	335	392237	4583874	335	-5,67	5,18	7,69	5,00
24	392182	4584240	362	392182	4584248	357	392180	4584240	357	392179	4584249	357	392180	4584241	357	392179	4584243	357	392178	4584239	357	392180	4584243	357	-2,50	3,35	4,18	-5,00
25	392453	4585555	216	392448	4585552	211	392455	4585559	211	392452	4585552	211	392451	4585558	211	392451	4585548	211	392451	4585550	211	392451	4585553	211	-1,33	-1,77	2,21	-5,00
26	392861	4585459	159	392860	4585459	162	392863	4585456	162	392858	4585460	162	392860	4585460	162	392860	4585459	162	392860	4585459	162	392860	4585459	162	-1,22	-0,24	1,24	3,00
27	392703	4586006	185	392699	4586008	185	392703	4586005	185	392698	4586010	185	392700	4586007	185	392700	4586007	185	392701	4586007	185	392700	4586007	185	-2,98	1,40	3,30	0,00
28	393959	4585999	205	393956	4585999	201	393958	4585997	201	393957	4586005	201	393959	4586001	201	393958	4585998	201	393958	4585998	201	393957	4586000	201	-1,19	1,12	1,63	-4,00
30	393084	4586537	5	393084	4586541	13	393083	4586536	13	393081	4586537	13	393089	4586541	13	393083	4586539	13	393084	4586537	13	393084	4586539	13	-0,11	1,53	1,53	8,00

Şekil 9. İkinci aşamaya ilişkin ortalama hata hesaplaması (Okumaların ortalama değerinden farklar)

Doğruluk araştırmalarında, ilgi alanındaki coğrafyayı en uygun şekilde temsil eden ve hata dağılımını en iyi yansıtan en az 20 KN kullanılmalıdır. En az 20 nokta ile test yapılırsa, bu sayede %95 güven seviyesinde en azından bir nokta için (20x0.05=1) konumsal doğruluk beklentilerini aşarak kaba hata olma durumu oluşabilir (FGDC, 1998).

Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS) Sayısal Coğrafi Veri Doğruluk Standartları dokümanına göre de, 500 km²'den küçük alanlarda gerçekleştirilecek yatay ve düşey doğruluk araştırmalarında en az 20 nokta kullanılması tavsiye edilmektedir (ASPRS, 2015) (Tablo 1).

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada, hem Zonguldak hem de Türkiye ve çevresinde yer alan etkin test alanlarında tavsiye edilen sayılardan çok daha fazla olacak şekilde KN kullanılmıştır. Tablo 1. Test Alanında Kullanılması Tavsiye Edilen KN Sayıları (ASPRS, 2015)

Proie Alanı	Yatay Test	Düşey Test
(km2)	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

6. ELDE EDİLEN KONUMSAL DOĞRULUKLAR VE DEĞERLENDİRME

Bir önceki bölümde anlatılan prensipler doğrultusunda yapılan ölçüm faaliyetleri sonrasında elde edilen sonuçlara yönelik hesaplamalar, FGDC (1998) Coğrafi Konumlama Doğruluk Standartları dokümanı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçların, sadece 2008 yılı sonrasında (2009-2018) alınmış GE görüntüleri üzerinde aynı noktaya ilişkin olarak yapılan 6 farklı tarihli ölçüye değerleri kapsadığı önünde ilişkin qöz bulundurulmalıdır. Ayrıca ölçümlerde düşey yükseklik değeri her bir ölçüde aynı okunmuştur çünkü yükseklik verisi GE programında bulunan güncel yükseklik modelinden okunmaktadır. Bu nedenle yükseklik farkları sadece 2018 yılı itibarı ile GE programında yer alan yükseklik (SRTM) verisinden olan farkları içermektedir. Bununla birlikte, detayları bir önceki bölümde aktarılan her iki yöntemdeki ortalama hata, KOH ve DH95 değerleri aynı, yöntem farklılığı nedeniyle mutlak ortalama hata değerleri ise farklı çıkmıştır.

Ölçümler sonrası yapılan ilk değerlendirmelerde, 3 σ (% 99.73 güven aralığı) dışında kalan kaba hatalı ölçü sayısının çok az olduğu tespit edilmiştir. İlk ölçümler sonucunda; Zonguldak test alanında 1 yatay ve 2 düşey nokta, Türkiye ve çevresine ilişkin test alanında ise sadece 2 düşey nokta kaba hatalı olarak tespit edilmiştir. Bu durum, GE programında okunan koordinatların rölatif olarak yüksek bir doğruluğa sahip olduğunu, görüntü işleme / ortorektifikasyon / kontrol çalışmalarının uyumlu başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve göstermektedir. Söz konusu kaba hatalı noktalar temizlendikten sonra elde edilen değerler ile ilk değerler arasındaki farklar da çok düşük seviyede kalmıştır.

Bu çerçevede, çalışma sonunda elde edilen ortalama hata değeri, cm düzeyinde doğruluğa sahip GNSS ölçülerinden üretilen YKN'lerin kullanıldığı Zonguldak alanında 1.83 m, 1 m düzeyinde doğruluğa sahip TSX YKN'lerin kullanıldığı Türkiye ve çevresinde ise 2.47 m olarak gerçekleşmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Ortalama hata değerleri

Tost Alanı	YKN	Ortalama Hata (m)							
Test Aldin	Sayısı	Δ _X	Δ _Y	∆r	Δ_Z				
Zonguldak	r=170 z=168	-0,88	0,29	1.83	-0.45				
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	-0,39	0,76	2,47	0,55				

Çalışmanın ilk aşamasında, 2009 yılı ve sonrasına ilişkin farklı yıllara ait görüntülerden okunan koordinatlar referans koordinat değerlerinden çıkarılarak ortalama, mutlak ortalama ve KOH değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmaya ilişkin mutlak ortalama hata değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Mutlak ortalama hata değerleri – 1. aşama (3 σ)

Test Alanı	YKN	Mutlak Ortalama Hata (m)							
Test Aldin	Sayısı	MΔ _X	MΔ _Y	M∆r	MΔz				
Zonguldak	r=170 z=168	2.03	2.58	3.34	5.48				
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	1.99	1.91	2.94	1.71				

1. aşamada iki bölge için elde edilen yatay mutlak ortalama hata değerleri, ortalama hata değerlerine nazaran birbirine daha yakın çıkmıştır. Düşey mutlak ortalama hata değerleri ise beklendiği şekilde eğimli bir yapı sergileyen Zonguldak bölgesinde daha yüksek çıkmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, 2009 yılı ve sonrasına ilişkin farklı yıllara ait görüntüler üzerinde okunan koordinatların ortalama değerlerinden referans koordinat değerleri çıkarılarak ortalama, mutlak ortalama ve karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Bu calışmaya ilişkin mutlak ortalama hata değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Hesaplama yöntemi nedeniyle, ikinci aşamada elde edilen yatay mutlak ortalama hata değerleri ile yatay ortalama hata değerleri aynıdır.

Tablo 4. Mutlak ortalama hata değerleri – 2. aşama (3 σ)

	VIZNI	Mutlak Ortalama Hata (m)							
Test Alanı	YKN Sayısı	MΔx	MΔγ	M∆r	MΔz				
Zonguldak	r=170 z=168	1.18	1.12	1.83	5.64				
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	1.42	1.65	2.47	2.02				

FGDC (1998) Coğrafi Konumlama Doğruluk Standartları dokümanına göre hesaplanmış olan **yatay KOH** (**3** σ) değerleri **Zonguldak için 2.27 m**, **Türkiye ve çevresi için de 2.89 m** şeklinde elde edilmiştir. Düşey KOH değerleri ise sırasıyla 7.05 m ve 2.65 m olarak elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. KOH (3 σ) değerleri

Tost Alanı	YKN	Karesel Ortalama Hata – KOH (m)							
Test Aldin	I	х	у	r	z				
Zonguldak	r=170 z=168	1.57	1.65	2.27	7.05				
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	1.88	2.19	2.89	2.65				

Elde edilen yatay KOH sonuçları incelendiğinde, KOHx ≠ KOHy olduğu ve KOHmin ile KOHmax değerleri arasındaki oran 0.6 ile 1.0 aralığında kaldığı için (Zonguldak için 1.57 / 1.65 = 0.95, Türkiye ve çevresi için 1.88 / 2.19 = 0.86) yatay DH95 değeri (13) nolu formül kullanılarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde düşey KOH değeri de (15) nolu formül kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, vatay DH95r değerinin Zonguldak için 3.94 m. Türkiye ve çevresi için de 4.97 m olduğu, düşey DH95 değerinin ise Zonguldak için 13.82 m, Türkiye ve çevresi için de 5.19 m olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. DH95 değerleri

	YKN	Dairesel Hata – DH95 (m)								
Test Alanı	Sayıs	K	ЭН	DH05r	DH95					
	I	х	у	D11951	Z					
Zonguldak	r=170 z=168	1.5 7	1.6 5	3.94	13.82					
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	1.8 8	2.1 9	4.97	5.19					

2008 yılı sonrasında alınmış görüntülerde aynı noktaya ilişkin olarak yapılan 6 farklı tarihli ölçüye ilişkin sonuçların daha az ölçü yapıldığında değişip değişmediği de kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla elde edilen farklar, 6. ölçüler silindikten sonra yeniden hesaplanmıştır.

GE programı şehirsel bölgelerin görüntülerini daha sık güncellediği için, özellikle Zonguldak bölgesinde 2 nokta hariç tüm noktaların 5 defa koordinatı okunabilmiştir. Bu nedenle Zonguldak bölgesinde farklar neredeyse aynı çıkmıştır.

Türkiye ve çevresinde de, 128 noktanın 5 farklı tarihte okuması yapılmaya çalışılmış ancak 34 noktada sadece 4, 8 noktada ise sadece 3 farklı tarihli görüntüde ölçü yapılabilmiştir. Bu nedenle Türkiye ve çevresinde sonuçların değiştiği ve hatta bir parça iyileştiği gözlenmiştir. Ancak aynı noktaya yapılan okuma sayılarının azalması nedeniyle, sonuçların daha güvenilir olduğunu veya gerçekten iyileştiğini söylemek çok doğru olmayacaktır (Tablo 7).

	Tablo 7.	Beş farklı	tarihli KOH ve	DH95 değerleri
--	----------	------------	----------------	----------------

Test	YKN	Karesel Ortalama Hata – KOH (m)								
Alanı	Sayısı	х	у	r	z					
Zonguldak	r=170 z=169	1.56	1.53	2.19	7.03					
Türkiye ve Çevresi	r=126 z=126	1.98	1.93	2.76	2.66					
-	YKN	Dair	Dairesel Hata – DH95 (m)							
Test Alani	Sayısı	K	ОН	DH9	DH95					
		х	у	5 r	Z					
Zonguldak	r=170 z=168	1.56	1.53	3.78	13.8					
Türkiye ve Çevresi	r=128 z=126	1.98	1.93	4.79	5.21					

Elde edilen yatay konumsal hataların yönleri incelendiğinde; Zonguldak bölgesinde yükseklik farklarından gelen bir etki ile genellikle dağlık / ormanlık bölgeden denize olacak şekilde kuzey istikametine doğru bir yönelme olduğu, Türkiye ve çevresinde ise iki bölge haricinde standart olmayan şekilde her yöne bir dağılım sergilendiği görülmüştür (Şekil 10).



Şekil 10. Yatay konumsal hata yönleri

Bu sonuçlar çerçevesinde, her iki test bölgesinde elde edilen değerler göz önüne alındığında, GE programında yer alan 2009 yılı ve sonrasına ait görüntüler üzerinde yapılacak çoklu okumaların ortalaması alınarak elde edilecek özellikle yatay koordinat bilgilerinin, bir çok coğrafi bilgi uygulamasında kullanılabileceği söylenebilir.

Elde edilen sonuçlarda ulaşılan 3 m'den daha iyi yatay KOH değeri ve 5 m'den daha iyi DH95 değerinin hangi uygulamalarda kullanılabileceğini belirleyebilmek için ASPRS'nin Sayısal Coğrafi Veri Doğruluk Standartları dokümanında yer alan bilgiler temel alınmıştır. Bu amaçla, çalışmada elde edilen yatay ve düşey doğruluklar bu dokümanda yer alan standartlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmelerde ilk olarak 2009 yılından sonra GE programında çoğunlukla 50 cm. çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanıldığı ve test bölgesinde de bu görüntüler üzerinde ölçü yapıldığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda ortofoto yatay doğruluk değerleri için; çalışmada Zonguldak test bölgesinde elde edilen KOHx=1.57 m ve KOHy=1.65 m değerlerinin "Sınıf III", Türkiye ve çevresi test bölgesinde elde edilen KOHx=1.88 m ve KOHy=2.19 m değerlerinin ise "Sınıf IV"e karşılık geldiği tespit edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Ortofotolar için yatay doğruluk standartları (ASPRS, 2015)

Yatay Doğruluk Sınıfları	KOHx ve KOHy
I	Piksel Boyutu x 1.0
II	Piksel Boyutu x 2.0
III	Piksel Boyutu x 3.0
	Piksel Boyutu x
Ν	Piksel Boyutu x N

Benzer şekilde, çalışmada Zonguldak bölgesinde elde edilen KOHr=2.27 m ile Türkiye ve çevresinde elde edilen KOHr=2.89 m değerlerinin ise 60 cm çözünürlüklü sayısal ortofotolar için "Sınıf III"e karşılık geldiği tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Sayısal ortofotolar için yatay doğruluk standartları (ASPRS, 2015)

Ortofoto Piksel Boyutu	Yatay Doğruluk Sınıfları	KOHx veya KOHy (cm)	KOHr (cm)
	I	60	84.9
60 cm	II	120	169.7
	III	180	254.6

Ortofoto üretiminden farklı olarak pafta çiziminde nokta konum doğruluğu; ülkemizdeki üretim standartlarını belirleyen Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'ne (2018) göre ± 0.20 mm'den, ASPRS'nin Büyük Ölçekli Haritalar İçin Doğruluk Standartları dokümanına göre ise ± 0.25 mm'den daha iyi olmalıdır (ASPRS, 1990).

Zonguldak ile Türkiye ve çevresinde elde edilen 2.27 - 2.89 m'lik yatay doğruluk değerleri, söz konusu iki dokümana göre farklı ölçeklerde harita üretimlerinin mümkün olduğunu ifade etmektedir. Her ne kadar bu değerler birbirine yakın gibi görünse de, kullanılan YKN'lerin doğruluğu da göz önüne alınarak, yapılacak değerlendirmelerin Zonguldak için bir parça daha anlamlı olduğu söylenebilir.

Bu kapsamda, GE görüntülerinin Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'ne (2018) göre ülkemizde standart olan 1:25.000 ölçekli harita üretimleri için, ASPRS'nin Büyük Ölçekli Haritalar İçin Doğruluk Standartlarına göre ise yaklaşık olarak "Sınıf 1" kategorisindeki 1:10.000 ölçekli harita üretimi için bile kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak test bölgelerinde elde edilen farklı sonuçlar (2.27 m / 2.89 m) nedeniyle, ABD standartlarını yansıtan "Sınıf 1" kategorisindeki 1:10.000 ölçekli harita üretimi öncesinde çalışma bölgesinde doğrulukların test edilmesi faydalı olacaktır. İlgili bölgede standartlara uygun doğruluk değerleri edilmesi durumunda, bu çalışmada elde (koordinat uygulanan yöntem değerlerinin kullanılarak ortalaması) calışmaların yürütülebileceği değerlendirilmiştir. (Tablo 10).

Tablo	10.	"Sınıf	1"	haritalar	için	yatay	doğruluk
standa	artlar	ו (ASP	RS	5, 1990)			

Sınıf I Planimetrik Doğruluk Limit KOH Değeri (m)	Harita Ölçeği
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1.000
0.50	1:2.000
1.00	1:4.000
1.25	1:5.000
2.50	1:10.000
5.00	1:20.000

GE görüntülerinin bilimsel çalışmalarda ve diğer projelerde kullanımıda Hernandez ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada da;

• GE görüntülerinin ASPRS standartlarına göre "Sınıf 1" kategorisindeki 1:20.000 ölçekli harita üretimlerinde kullanılabileceği,

• Söz konusu çalışmanın, yüksek çözünürlüklü görüntülerde açıklıkla tespit edilebilecek detaylardan çok sayıda YKN'ler toplanması koşuluyla sağlanabileceği,

 Üretim yapılacak bölgede orta ölçekli görüntüler olması halinde ise gerekli doğrulukların sağlanamayacağı ifade edilmiştir. ASPRS tarafından belirlenen sayısal yükseklik verisi düşey doğruluk sınıfları göz önüne alındığında, çalışmada Zonguldak için elde edilen düşey doğruluk değerlerinin (KOHz = 7.05 m, DH95z = 13.82 m) yaklaşık olarak "Sınıf VIII"e, Türkiye ve çevresi için elde edilen düşey doğruluk değerlerinin de (KOHz = 2.65 m, DH95z = 5.19 m) "Sınıf VI"ya karşılık geldiği tespit edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. Sayısal yükseklik verisi düşey doğruluk sınıfları (ASPRS, 2015)

Düşey veri Doğrulu k Sınıfı	Yoğun Bitki Örtüsü Olmayan Arazideki KOHz (cm)	Yoğun Bitki Örtüsü Olmayan Arazide %95 Güven Aralığında KOHz (cm)	Yoğun Bitki Örtüsü Olan Arazide DH95 (cm)
	1.0	2.0	2.9
=	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
Х	333.3	653.3	980.0

Söz konusu düşey doğruluk değerleri, beklendiği gibi yoğun ormanlık arazinin varlığı, bölgedeki yükseklik farkları ve eğim faktörü nedeniyle Zonguldak bölgesinde Türkiye ve çevresine göre 3 kat daha kötü çıkmıştır. Ancak bu değerlerin GE programında yüklü olan SRTM verisinin bölgesel doğruluk değerlerini yansıttığı göz önüne alındığında, elde edilen sonuçların % 90 güven aralığında <=16 m mutlak ve <= 10 m rölatif düşey doğruluğa sahip olduğu ifade edilen 30 m x 30 m aralıklı SRTM verisinden beklenen doğruluk değerlerini de karşıladığı söylenebilir ("SRTM", 2018).

7. SONUÇ

GE programında Türkiye ve yakın çevresine ilişkin uydu görüntülerinin yatay konumsal doğruluk değerlerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, ASPRS'nin Sayısal Coğrafi Veri Doğruluk Standartları ve Büyük Ölçekli Haritalar İçin Doğruluk Standartları ile ülkemiz standartlarını belirleyen Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (2018) göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda;

• Kullanımı her geçen gün yaygınlaşan GE görüntülerinin konumsal doğruluğunun, görüntülerin çözünürlüğüne ve çekim tarihine bağlı olarak değiştiği, farklı bölgelerde / alanlarda değişken bir yapı sergilediği ancak rölatif olarak yüksek bir doğruluğa sahip olduğu,

• GE programına 2008 yılından sonra yüklenen görüntülerin daha iyi konumsal doğruluğa sahip olduğu bilinse de, yüksek konumsal doğruluk (<3 m) beklenen çalışmalarda mutlaka arazide ölçme işlemleri yapılarak doğruluğun test edilmesinin faydalı olacağı,

• Elde edilen DH95r<5 m yatay ve DH95z<14 m düşey konumsal doğruluk değerlerinin literatürde yer alan çalışmalar ve uydu spesifikasyonları ile uyumlu olduğu,

• Bu konumsal doğruluklara ulaşmak amacıyla GE programı kullanılarak yapılacak CBS çalışmalarında, aynı noktaya ilişkin 2008 yılı sonrasında farklı tarihlerde alınmış mümkün olduğunca çok sayıda görüntü kullanılmasının (minimum 5-6) ve hesaplamaların koordinatların ortalaması alınarak gerçekleştirilmesinin uygun olacağı,

• Elde edilen söz konusu konumsal doğrulukların, GE programının düşük maliyeti ve yaygın kullanımı ile birlikte birçok CBS uygulaması için yeterli olabileceği,

• ABD standartlarında üretim öncesinde doğrulukların arazide test edilmesi koşuluyla 1:10.000 ölçekli harita üretimlerinde, ülkemizde ise 1:15.000 (standart olarak 1:25.000) ölçekli harita üretimlerinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

ORCID

V.O. ATAK D https://orcid.org/0000-0002-9828-9847

KAYNAKLAR

Airbus Defence and Space. (2015, Haziran). GEO GCPs Technical Product Spesification, Version 1.0. Erişim adresi (25 Mayıs 2018): www.intelligence-airbusds.com

- American Society for Photogrammetry And Remote Sensing (ASPRS) Accuracy Standards for Large-Scale Maps, (1990). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *56*(7), 1068-1070.
- American Society for Photogrammetry And Remote Sensing (ASPRS) Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2015, Mart). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81. doi:10.14358/PERS.81.3.A1-A26
- Atak, V.O., Erdoğan, M. ve Yılmaz, A. (2015, Ocak). Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri, Ankara: *Harita Dergisi*, 153, 18-33, ISSN: 1300–5790. Erişim adresi: https://www.harita.gov.tr/images/dergi/3314df c68a97404.pdf
- Bayık, Ç., Topan, H., Özendi, M., Oruç, M., Cam, A. ve Abdikan, S. (2016, Ekim). Uzaktan Algılama Görüntülerinden Konuma Bağlı Bilgi Üretimi Araştırmalarında Zonguldak Test Alanının Önemi. 6. Uzaktan Algılama – CBS Sempozyumu, Adana, Türkiye. Erişim adresi: geomatik.beun.edu.tr/toplan/files/2012/06/UZ AL_CBS_2016_bayik.pdf
- Becek, K. ve İbrahim, K. (2011. Mayıs). On the Positional Accuracy of the Google Earth Imagery, Fas: *TS051 - Spatial Information Processing*, 4947. FIG Working Week 2011. Erişim adresi: fig.net/resources/fig_ proceedings/fig2011/papers/ts05i/ts05i_becek _ibrahim_4947.pdf
- Benker, S.C., Langford, R.P. ve Pavlis, T.L. (2011). Positional Accuracy of the Google Earth Terrain Model Derived from Stratigraphic Unconformities in the Big Bend Region, USA: *Geocarto International*, 26(4), 291-301. doi:10.1080/10106049.2011.568125
- Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği. (2018). No: 2018/11962, Tertibi: 5, Cilt 59.
- Federal Geographic Data Committee (FGDC) Geospatial Positioning Accuracy Standards, (1998). Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy, ABD: FGDC-STD-007.3-1998.

- Hernandez, C.U.P., Castillo, W.E.S., Cortina, F.G. ve Becerra, X.M. (2013). Horizontal Positional Accuracy of Google Earth's Imagery Over Rural Areas: A Study Case In Tamaulipas, Mexico, Meksika: *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 19, no.4, 588-601. doi:10.1590/S1982-21702013000400005
- Karaçetin, Ü., Sunar, F. ve Şıpka, T. (2010, Ekim). Google Earth Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluğunun Araştırılması. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye. Erişim adresi: uzalcbs.org/wp_content/uploads/2016/11/201 0_91.pdf
- Mohammed, N.Z., Ghazi, A. ve Mustafa, H.E. (2013). Positional Accuracy Testing of Google Earth. International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 4, No.6, ISSN: 2045-7057. Erişim adresi: www.jmse.org/Volume4/Issue6/paper2.pdf
- Potere, D. (2008). Horizontal Positional Accuracy of Google Earth's High-Resolution Imagery Archive. *Sensors*, *8*, 7973-7981. doi:10.3390/s8127973
- Pulighe, G., Baiocchi, V. ve Lupia, F. (2016). Horizontal Accuracy Assessment of Very High Resolution Google Earth Images in the City of Rome, Italy. *International Journal of Digital Earth*, 9, 342-362. doi:10.1080/17538947.2015. 1031716
- Topan, H., Oruç, M., Özendi, M. ve Cam, A. (2014, Mart). Optik Uydu Görüntülerinden Konuma Bağlı Bilgi Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi. Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı, Ankara, Türkiye.
- Yousefzadeh, M. ve Mojaradi, B. (2012). Combined Rigorous-Generic Direct Orthorectification Procedure for IRS-P6 Sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *74*, 122-132. doi:10.1016/2012.09.005
- Yu, L. ve Gong, P. (2012). Google Earth as a Virtual Globe Tool for Earth Science Applications at the Global Scale: Progress and Perspectives. *International Journal of Remote Sensing*, *33*(12), 3966-3986. doi:10.1080/01431161.2011.636081

- Google Earth Datasets. (2018). Erişim adresi (08 Mayıs 2018): https://earthengine.google.com/ datasets/
- Google Earth Imagery. (2014). Erişim adresi (15 Mayıs 2018): https://www.gearthblog.com/ blog/archives/2014/04/google-earth-imagery. html
- Google Earth Measurement and Image Alignment. (2015). Erişim adresi (03 Mayıs 2018): https://www.gearthblog.com/blog/ archives/2015/10/google-earth-measurementimage-alignment.html
- Google Earth Updated Imagery. (2018). Erişim adresi (04 Mayıs 2018): https://9to5google. com/2018/04/19/google-maps-earth-updatedimagery/
- Google'da Sansür. (2008). Erişim adresi (18 Nisan 2018): http://www.radikal.com.tr/ teknoloji/googlein-elinin-uzanmadigi-yerler-devar-889536/
- Google Haritasındaki Hayalet Yerler. (2018). Erişim adresi (18 Nisan 2018): https://www.sozcu.com.tr/ hayatim/yasamhaberleri/google-haritasindaki-hayalet-yerler-2/
- Google Maps'te Türkiyenin Uydu Görüntüleri Neden Bulanık. (2016). Erişim adresi (18 Nisan 2018): https:// webrazzi.com/2016/07/ 11/google-mapste-turkiyenin-uydugoruntuleri-neden-bulanik/
- High Resolution Satellite Imagery. (2018). Erişim adresi (21 Mayıs 2018): http://www. harrisgeospatial.com/Data Imagery
- SRTM. (2018). Erişim adresi (21 Mayıs 2018): https://www2.jpl. nasa.gov/ srtm/statistics.html

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan Zonguldak test alanına ilişkin bilgileri sağlayan Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ve Doç.Dr. Hüseyin Topan'a, ölçüleri gerçekleştiren Hv.İsth.Ütğm. Muhammet ARI ve De.Me.Şerif KUTBAY'a, ayrıca bu makalenin yazılmasına verdikleri destek nedeniyle; NİK Sistem Direktörü Ayşe Yücel Dr.Müh.Alb.Mustafa ERDOĞAN'a, ERBAY'a, Dr.Müh.Alb.Ali İhsan KURT'a ve Hv.İsth.Yb.Fatih Güven GÜLTEKİN ile De.Me.Mehmet Emin AYAZ başta olmak üzere tüm Coğrafi Veri Komutanlığı personeline teşekkürü bir borç bilirim.