

# İstanbul Astro-jeodezik Test Ağında Sayısal Zenit Kamera Sistemi Gözlemleri

Kerem Halıcıoğlu<sup>1</sup>, M. Tefvik Özlüdemir<sup>2</sup>, Rasim Deniz<sup>2</sup>, Haluk Özener<sup>1</sup>, Müge Albayrak<sup>2,\*</sup>, Raşit Uluğ<sup>2</sup>, Burak Başoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, 34680, İstanbul.

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

## Özet

GNSS tekniği ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerin pratik (ortometrik) yüksekliklere dönüştürülmesi için gerekli ulusal ve yerel geoit modelleri, farklı tekniklerin sağladığı verilerden yararlanılarak geliştirilmektedir. Bu veriler, jeodezik, gravimetrik ve astro-jeodezik yöntemlerle elde edilmekte; bu süreçlerde gravite ölçüleri, astro-jeodezik çekül sapmaları, GNSS/Nivelman verileri, uydu gravite verileri, uydu altimetre verileri ve bu verilerin kombinasyonları ile üretilen jeopotansiyel modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda temel yaklaşım, farklı verilerin birbirlerini kontrol edecek biçimde değerlendirme stratejilerinin kullanılmasıdır. Bu veri kaynaklarından biri olan astro-jeodezik çekül sapması verilerini elde etmek için Sayısal Zenit Kamera Sisteminden (SZKS) yararlanılmaktadır. Geliştirilen SZKS donanım ve yazılım güncellemeleri ile İstanbul metropolitan alanında özellikle dağlık ve kıyı bölgelerde seçilen İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) ve İstanbul Nivelman Ağı (İNA) ortak olan 32 noktadan oluşan bir Astro-jeodezik ağda yapılacak ölçmeler için kullanılacaktır. Bu çalışmada, SZKS'nin gerçekleştirilen güncel donanım ve yazılım güncellemeleri tanıtılmakta ve elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

## Anahtar Sözcükler

Sayısal Zenit Kamera Sistemi, Astro-jeodezik Teknik, Çekül Sapması Bileşenleri, GNSS/Nivelman Tekniği

## Abstract

National and local geoid models that are required to transform ellipsoidal heights from GNSS technique to practical (orthometric) heights are developed using data collected by different techniques. Development of geoid modelling is based on geodetic, gravimetric and astro-geodetic techniques, which are maintained using the geopotential models produced by the combination of gravity measurements, astro-geodetic vertical deflections, GNSS/Levelling data, satellite gravity data, satellite altimetry data and the combination of these data. The basic approach in these studies is the use of assessment strategies in a way to control each of the different data groups such as astro-geodetic deflections of vertical (DoV) components which can be obtained using Digital Zenith Camera Systems (DZCS). The newly designed DZCS is going to be used on an astro-geodetic test network, which consists of 32 common points from Istanbul Triangulation GPS Network and Istanbul Levelling Network. The control points of the astro-geodetic test network are selected especially in mountainous and coastal regions in Istanbul metropolitan area. In this study, current hardware and software updates of DZCS are introduced and obtained results are discussed.

## Keywords

Digital Zenith Camera System, Astro-geodetic Methods, Deflections of Vertical Components, GNSS/Levelling

## 1. Giriş

Geoit, küresel navigasyon uydu sistemleri (GNSS) teknolojisinin rasyonel bir şekilde kullanılması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin oluşturulmasında temel jeodezik altyapıdır. Bu nedenle gerek dünyada gerekse ülkemizde “cm geoidi” oluşturulması çalışmalarını güncel bir şekilde devam ettirmektedir.

Ülkemizde, mühendislik çalışmalarında kullanılacak geoit bilgisi, gereksinimlere bağlı olarak, halihazır alımlar esnasında “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği” (BÖHHBÜY, 2005) esasları uyarınca sağlanmaktadır. Yönetmelik esaslarına göre ilgili geoit bilgisi mevcut Türkiye Geoidi'nin iyileştirilerek kullanılmasının yanı sıra, yerel geoit modellerinin üretilmesiyle de sağlanabilmektedir. Bu açıdan tüm Türkiye için sürekliliği olan, mühendislik çalışmalarına ve mekansal bilgi sistemlerine altlık olacak bir ulusal “cm geoidi”nin oluşturulması çalışmaları günceldir, önceliklidir ve desteklenmektedir (Deniz ve Çelik, 1999).

Türkiye Ulusal Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ile ilgili yürütülen çalışmalar, ülkemiz jeodezi bilimi alanında önde gelen başlıklarından biri konumundadır. Bu önceliğe Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonunun (TUJK) 2016 yılında yayımlanan Türkiye Ulusal Jeodezi Programı'nda da yer verilmiştir (TUJK, 2016). Bu çerçevede, ulusal yükseklik sisteminin önemli bir unsuru olan Türkiye geoit modelinin yaklaşık  $\pm 9$  cm olan mevcut dış doğruluğunun, nivelman yapılmadan doğrudan GNSS teknikleri ile pratik yükseklik bilgisi üretilmesi için yeterli olmadığı vurgulanmakta, gereksinim duyulan geoidin  $\pm 1-3$  cm doğruluğa sahip olması gerektiğinin altı çizilmektedir. Sözü edilen bildirme ve programda böyle bir geoidin jeodezik, gravimetrik ve astro-jeodezik yöntemlerle elde edilen farklı verilerin birlikte kullanımıyla belirlenmesi gerektiği dile getirilmektedir. Dolayısıyla, Türkiye Ulusal Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu sürecinde anılan veri kümelerinin yapılacak çalışmalara entegrasyonu büyük önem taşımaktadır.

\* Sorumlu Yazar E-posta: albayrakmug@itu.edu.tr (Müge Albayrak)

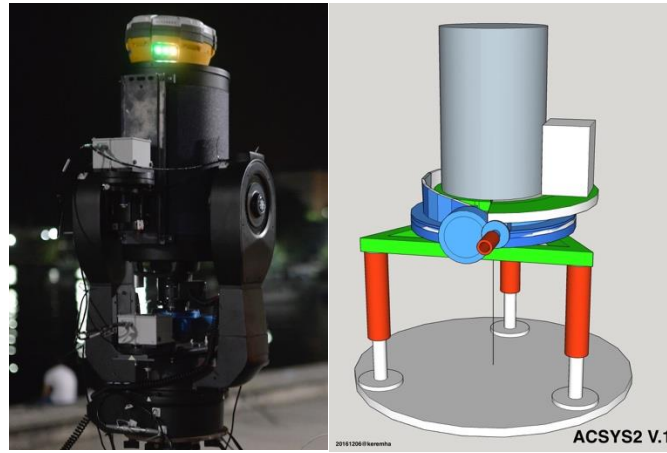
Geoit belirleme yöntemlerinden biri olan astro-jeodezik geoit belirleme yönteminde CCD kameralar kullanılarak çekül sapması bileşenleri yüksek doğruluklarda (0.2-0.3", 2-3 mm/km) belirlenebilmektedir. Bu kapsamda Sayısal Zenit Kamera Sistemi (SZKS) üzerine araştırmalar dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Almanya ve İsviçre (Hirt ve Burki, 2002; Burki vd., 2004; Hirt, 2004; Muller vd., 2004; Hirt vd., 2010), Polonya (Kurdys, 2009), Türkiye (Halıcıoğlu vd., 2013), Çin ve Japonya (Hanada vd., 2012; Wang vd., 2014; Tian vd., 2014), Letonya (Abele vd., 2012) ve Macaristan (Hirt vd., 2014) farklı niteliklere sahip SZKS geliştiren ülkeler arasındadır. Türkiye’de geliştirilen SZKS, 111Y125 numaralı TÜBİTAK destekli “CCD Kameralar ile Astro-jeodezik Çekül Sapmalarının Belirlenmesi” projesi kapsamında tamamlanmıştır. Geliştirilen sistem ile 0.2-0.3" (2-3 mm/km) doğruluklarla çekül sapmalarının belirlenebileceği görülmüştür. Sistemin doğruluğunun donanım ve yazılım güncellemeleri ile artırılabilceği de ifade edilmiştir (Deniz vd., 2014; Halıcıoğlu vd., 2016; Halıcıoğlu 2015).

## 2. Sayısal Zenit Kamera Sistemi (SZKS)

Sayısal Zenit Kamera Sistemi (SZKS), astro-jeodezik teknikle geoit modellemede çekül sapmasının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Çekül sapması bilgisi ile geoit modeli geliştirilmesi için gerekli geoit yüksekliği değişimi belirlenmektedir. Geoit modeli oluşturmanın en büyük avantajı GNSS tekniği ile elde edilen ve pratikte kullanılmayan elipsoidal yüksekliğin uygulamalarda kullanılacak ortometrik yüksekliğe dönüşümünün kolaylıkla sağlanmasıdır. Bu amaçla ülkemizde de ulusal bir geoit belirlenmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Ulusal geoidin yanı sıra bölgesel ve yerel geoit modelleri de geliştirilmiştir (Ayan vd., 2006). Bu modellerin geliştirilmesinde geometrik nivelman ve GNSS gözlem verilerinden yararlanılmıştır. Jeodezik, gravimetrik ve astro-jeodezik yöntemlerle elde edilen diğer verilerin mevcut GNSS/Nivelman verilerine entegre edilmesiyle “cm geoidi” hedefine ulaşılabilir.

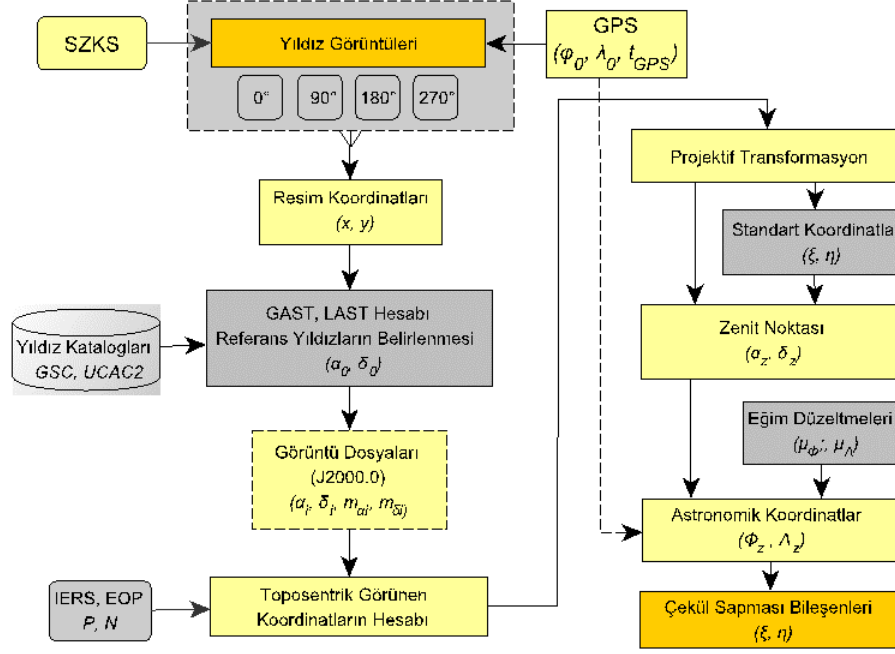
111Y125 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilen SZKS, 20 cm ayna açıklığına ve Schmidt-Cassegrain tipi mimariye sahip teleskop, yüksek kuantum etkinliğine sahip CCD kamera, presizyonlu ve iki eksenli eğimölçerler, zaman belirleme ve jeodezik koordinatlar için GPS donanımı, görüntü odaklayıcı ve sistemi taşıyıcı bir tribrahtan oluşmaktadır.

Ulusal bir hedef olan “cm geoidi”nin oluşturulması için gerekli verilerden biri olan çekül sapması bileşenlerinin belirlenmesi için 111Y125 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilen SZKS, 115Y237 numaralı “Astro-jeodezik ve GNSS/Nivelman Verilerinin Entegrasyonu ile Yerel Geoit Modellemesi” başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında Şekil 1’de belirtilen gerekli donanım ve yazılım güncellemeleri ile geliştirilmeye devam edilmektedir.



*Şekil 1: Sayısal Zenit Kamera Sistemi*

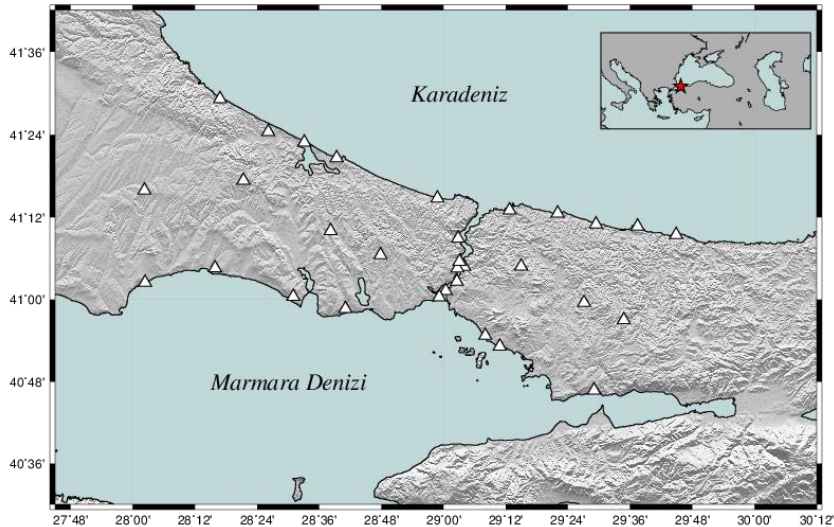
Geliştirilen sistem, eğimölçerler yardımıyla çekül doğrultusuna yönlendirilmekte ve CCD kameralar ile elde edilen yıldız görüntüleri değerlendirilmektedir. Eğimölçer değerleri ve görüntü bilgileri GPS donanımı yardımıyla elde edilen presizyonlu zaman bilgisi kullanılarak ilişkilendirilmektedir. Elde edilen görüntülerdeki yıldızlar presizyonlu yıldız katalogları yardımıyla tanımlanmakta ve ölçme epoğundaki koordinatları hesaplanmaktadır. Yıldız görüntülerinin değerlendirilmesi sonucu hesaplanan Astronomik koordinatlar, GPS ile elde edilen jeodezik koordinatlar ile ilişkilendirilerek Şekil 2’de belirtilen iş akışı ile çekül sapması bileşenleri elde edilmektedir.



Şekil 2: Çekül sapması bileşenleri elde etmek için oluşturulan iş akışı

### 3. Astro-jeodezik Test Ağı ve Planlanan Çalışmalar

Dijital görüntü sensörleri, hassas eğimölçerler ve GNSS ile entegre çalışan Sayısal Zenit Kamera Sistemleri (SZKS), astro-jeodezik çalışmalarda çekül sapmalarının belirlenmesinde kullanılmakta ve astro-jeodezik geoidin belirlenmesinde ekonomik ve prezisyonlu çözümler sunmaktadır. SZKS'ler özellikle dağlık ve kıyı bölgelerde gravimetrik geoid modellerinin iyileştirilmesinde başarı ile kullanılabilme potansiyeline sahiptir. TÜBİTAK desteği ile gerçekleştirilen ve yukarıda bahsedilen 111Y125 numaralı projede bu potansiyel, sağlanan doğrulukla başarılı bir şekilde ortaya konulmuş, İstanbul Nirengi Ağı (İGNA) ve İstanbul Nivelman Ağı (İNA) ortak olan belirli sayıda test noktasında gerçekleştirilen ölçmelerle, noktalar arasındaki geoid yüksekliği değişimleri belirlenmiştir (Deniz vd., 2014). Bu çalışmanın güncelliğini koruyan geoid belirleme çalışmalarına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. SZKS ile gerçekleştirilecek ölçmeler sözü edilen, TUJK'nın yükseklik modernizasyonu kapsamında önermiş olduğu astro-jeodezik geoid belirleme çalışmalarının Türkiye'de ilk defa gerçekleşmesini sağlaması bakımından büyük öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, İstanbul metropolitan alanında enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliği bilinen İGNA ve ortometrik yüksekliği bilinen İNA'da ortak olan ve özellikle dağlık ve kıyı bölgelerde seçilen yaklaşık 30 noktadan oluşan astro-jeodezik bir ağ Şekil 3'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Donanım ve yazılım güncellemeleri ile yeniden oluşturulan SZKS, oluşturulan bu astro-jeodezik ağda yapılacak ölçmeler için kullanılacaktır.



Şekil 3: Astro-jeodezik test ağı

## 4. Sonuçlar

111Y125 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilen SZKS, 115Y237 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında donanım ve yazılım güncellemeleri ile yenilenmektedir. Bu kapsamda eğitimölçer, odaklayıcı ve sistemi taşıyıcı bir altyapı ile sistem donanımsal olarak güncellenmiştir. Eğitimölçer donanımı, daha yüksek presizyonlu ve yüksek çözünürlüklü eğitimölçer sistemi ile güncellenmiştir. SZKS'nin bir diğer bileşeni olan odaklayıcı, sıcaklığa duyarlı olacak şekilde yenilenmiştir. Son olarak, taşıyıcı altyapı sistemi yeniden tasarlanarak elektrikli motorlarla otomatik desteklenmiş ve taşınabilirlik yeteneği artırılmıştır. Bu çalışma SZKS'nin güncel durumunu, gerçekleştirilen kalibrasyon-test ölçmelerini ve planlanan çalışmaları tartışmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115Y237 numarası ile 1001 kodlu Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenmektedir. Proje kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Abele M., Balodis J., Janpaule I., Lasmane I., Rubans A. and Zariņš A., (2012), Digital zenith camera for vertical deflection determination. *Geodesy and Cartography* 38 (4), 123-129
- Ayan, T., Deniz R., Arslan E., Celik R.N., Denli H.H., Akyılmaz O., Ozsamlı C., Ozludemir M.T., Erol S., Erol B., Acar M., Mercan H. and Tekdal E., (2006), İstanbul GPS Nirengi Ağı 2005-2006 Yenileme Ölçü ve Değerlendirmesi (İGNA 2005), Teknik Rapor. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı, 2. cilt, ISBN 978-975-561-299-7 .
- BÖHNBÜY, (2005), Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgisi Üretim Yönetmeliği.
- Burki, B., Muller, A. and Kahle, H.G., (2004), DIADEM: The new digital astronomical deflection measuring system for high-precision measurements of deflections of the vertical at ETH Zurich. In: *Electronic proceed of the IAG GGSM2004 meeting in Porto, Portugal*.
- Deniz, R. (Proje Koordinatörü), Özener, H., Bölge, H. ve Halicioğlu, K., (2014), CCD kameralar ile astrojeodezik çekül sapmalarının belirlenmesi. TÜBİTAK 1001 Proje No: 111Y125.
- Deniz, R. ve Çelik, R.N., (1999), Güncel gelişmeler ışığında mekansal bilgi sistemleri için altyapı ve problemler. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.
- Halicioğlu, K., Deniz, R. ve Ozener, H., (2016), Digital astro-geodetic camera system for the measurement of the deflections of the vertical: tests and results. *International Journal of Digital Earth*, 9(9), pp.914-923. doi:10.1080/17538947.2016.1189612.
- Halicioğlu, K., (2015), Determination of Astrogeodetic Deflections of The Vertical Using Digital Zenith Camera System, PhD Dissertation, İstanbul Technical University.
- Halicioğlu, K., Deniz, R. and Ozener, H., (2013), Digital zenith camera system for Astro-geodetic applications in Turkey. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 1(2), pp.115–20. doi:10.9733/jgg.131212.1.
- Hanada, H., Araki, H., Tazawa, S., Tsuruta, S., Noda, H., Asari, K. and Kikuchi, M., (2012), Development of a digital zenith telescope for advanced astrometry. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 55(4), pp.723–32. doi:10.1007/s11433-012-4673-1
- Hirt, C., Papp, G., Pal, A., Benedek, J. and Szucs, E., (2014), Expected accuracy of tilt measurements on a novel hexapod-based digital zenith camera system - A Monte Carlo simulation study. *Measurement Science Technology*, 25(8), pp.085004. doi:10.1088/0957-0233/25/8/085004
- Hirt, C., Burki, B., Somieski, A. and Seeber, G., (2010), Modern determination of vertical deflections using digital zenith cameras. *Journal of Surveying Engineering*, 136(1), pp.1–12. doi:10.1061/\_ASCE\_SU.1943-5428.0000009
- Hirt, C., (2004), Entwicklung und Erprobung eines digitalen Zenitkamarasystems für die hochpräzise Lotabweichungsbestimmung (Doctoral dissertation), Wissen. Arb. Fach. Vermessungswesen Univ. Hannover Nr. 253.
- Hirt, C. and Burki, B., (2002), The digital zenith camera—A new high-precision and economic astrogeodetic observation system for real-time measurement of deflections of the vertical. In: *Proceed of the 3rd meeting of the international gravity and geoid commission of the international association of geodesy, Thessaloniki (ed. I. Tziavos): 161–6*.
- Kudrys, J., (2009), Automatic determination of the deflections of the vertical - first scientific results. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 6 (3), pp.233–9.
- Muller, A., Burki, B., Hirt, C., Marti, U. and Kahle, H. G., (2004), First results from new high-precision measurements of deflections of the vertical in Switzerland. In: *Proceed of the IAG GGSM2004 Meeting in Porto, Portugal*.
- Tian, L., Guo, J., Han, Y., Lu, X., Liu, W., Wang, Z., Wang, B., Yin, Z. and Wang, H., (2014), Digital zenith telescope prototype of China. *Chinese Science Bulletin*, 59(17), pp.1978–83. doi:10.1007/s11434-014-0256-z
- TUJK, (2016), Türkiye Ulusal Jeodezi Programı. Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Wang, B., Tian, L., Wang, Z., Yin, Z., Liu, W., Qiao, Q., Wang, H. and Han, Y., (2014), Image and data processing of digital zenith telescope (DZT-1) of China, *Chin. Chinese Science Bulletin*, 59(17), pp.1984–91. doi:10.1007/s11434-014-0277-7.