

Yükseklik Modernizasyonu Yaklaşımı: Türkiye İçin Bir İnceleme (Height Modernization Approach: An Evaluation For Turkey)

Hasan YILDIZ

Harita Genel Komutanlığı, Cebeci, ANKARA
Hasan.yildiz@hgk.msb.gov.tr

ÖZET

Dünyada Küresel Konum Belirleme ve Seyrüsefer Uydu Sistemlerinden elde edilen elipsoid yüksekliklerini ortometrik yüksekliklere dönüştürmek için gereken gravimetrik jeoid modelini 1 cm doğrulukla belirlemeyi ve gravimetrik jeoid modelini düşey datum olarak kullanmayı hedefleyen yükseklik modernizasyonu çalışmaları artmaktadır. Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif ile gözlem sonrası veri değerlendirmesi ile noktasal yatay konum bilgileri 1 cm, elipsoid yükseklikleri 2-3 cm doğruluğunda elde edilebilmektedir. Bu sistem ile kullanıcılara ortometrik yüksekliklerin de eşdeğer bir doğrulukta sunulabilmesi için Türkiye genelinde 2-3 cm doğruluklu bir gravimetrik jeoidin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun, düz alanlarda yeni yersel gravite, dağlarda, göllerde ve kıyasal alanlarda ise uçaktan gravite ile Türkiye genelinde oluşturulacak homojen dağılımlı gravite verileri ile elde edilmesi ve mevcut yersel gravite ölçülerindeki olası hataların giderilmesi ile sağlanabileceği değerlendirilmektedir. GOCE (Gravity and Ocean Explorer) uydu gözlemlerinden belirlenecek deniz jeoid modellerinin uydu altimetre ölçülerinden elde edilen Ortalama Deniz Yüzeyi modelleri ile birleştirilmesi ile kıyılarımızda yüksek doğruluklu Ortalama Dinamik Topografya (ODT) modelleri belirlenebilir. ODT değerleri, ulusal düşey kontrol ağı mareograf istasyonlarında belirlenen ortalama deniz seviyesi değerlerine eklenerek her bir mareograf istasyonunda düşey kontrol ağı ve gravimetrik jeoid modelinden bağımsız bir jeoid yüzeyi hesaplanabilir ve kıyasal alanlarda ulusal gravimetrik jeoid modellerinin test edilmesinde kullanılabilir. Ülke genelinde nivelman yapılmasının mesafeye bağlı hata birikimine neden olması, zamana bağlı yerel deformasyonlar ve röper noktalarının çeşitli nedenlerle zaman içinde tahrip olması nedenleriyle nivelman tabanlı düşey datum yerine, Türkiye için jeodinamik aktiviteden ve yerel deformasyonlardan daha az etkilenen gravimetrik jeoidin düşey datum olarak kullanılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yükseklik modernizasyonu, yersel gravite, uçaktan gravite, uydu gravite, mareograf istasyonları, ortalama dinamik topografya, gravimetrik jeoid, düşey datum.

ABSTRACT

In the World, the height modernization efforts increased, aiming to determine 1 cm accurate gravimetric geoid model to convert ellipsoidal heights obtained from Global Navigation Satellite System-GNSS) to orthometric heights and aiming to use

gravimetric geoid model as a vertical datum. Through the Turkish National Permanent GPS Network, after post-processing, horizontal coordinates can be obtained with an accuracy of 1 cm and the ellipsoidal heights with an accuracy of 2-3 cm. A geoid model of 2-3 cm accuracy is needed for this system to offer orthometric heights to the users at similar accuracies. This requires homogeneously distributed gravity data in Turkey which can be provided by terrestrial gravity in flat areas and airborne gravity in the mountains, lakes and coastal zone and removing the errors in existing terrestrial gravity measurements. By the combination of marine geoid models derived from GOCE (Gravity and Ocean Explorer) satellite observations with the Mean Sea Surface models derived from satellite altimetry observations, highly accurate Mean Dynamic Topography (MDT) along our coasts can be determined. By adding MDT values to the mean sea level values at tide gauges connected to the vertical control networks, geoid surfaces will be determined at each tide gauge free from vertical control network and gravimetric geoid model and this can be used to test the national gravimetric geoid models at coastal areas. Due to the fact that carrying out country-wide leveling causes the distance-dependent error accumulation, temporal local deformations and deterioration of leveling benchmarks over time because of various reasons, instead of levelling-based vertical datum the use of a gravimetric geoid model as a vertical datum, less sensitive to geodynamic activity and local deformations, is suggested for Turkey.

Key words: Height modernization, terrestrial gravity, airborne gravity, satellite gravity, tide gauges, mean dynamic topography, gravimetric geoid, vertical datum.

1. GİRİŞ

Ulusal ölçekte tutarlı bir yükseklik referans sistemi ile ölçme, mühendislik, harita üretimi, yer ve deniz bilimleri araştırmaları ve daha birçok alanda yer referanslı her türlü coğrafi bilgi arasında yükseklik bileşeni ile ilgili tutarlılık ve devamlılık sağlanır ve güvenilir bir biçimde ilişki kurulur. Yükseklik referans sistemi, sadece yol mühendisliğinden araç izleme sistemlerine kadar çeşitli harita mühendisliği uygulamaları için değil, arazi ve su kaynakları yönetimi, deprem ve sele yönelik afet yönetimi gibi ulusal ölçekteki diğer faaliyetler için de gereklidir.

Modern toplum, yüksek doğruluklu yatay ve düşey konumsal coğrafi bilgiye her geçen gün daha da artan bir şekilde bağımlı bir hale gelmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Jeodezik Ölçme Dairesi (National Geodetic Survey-NGS) tarafından yakın bir gelecekte koordinatlara dayalı bir adres sistemine geçileceği tahmin edilmektedir. GPS, GLONASS ve yakında Avrupa Birliği tarafından uygulamaya geçirilmesi planlanan GALILEO uydularıyla birlikte yüksek doğruluklu jeoid olan ihtiyacın da artması beklenmektedir. Bu üç uydu sistemi (GPS, GLONASS ve GALILEO) ile geliştirmekte olan COMPASS ve IRNSS olan sistemleri Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemini (Global Navigation Satellite System-GNSS) oluşturmakta ve yatay (enlem ve boylam) ve düşey (elipsoid yüksekliği) konum bilgileri sağlamaktadır. Elipsoid yüksekliği, fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi bir noktanın dünyanın şekline en uygun ve dünyanın merkezine yerleştirilmiş bir elipsoid yüzeyinin normali boyunca ölçülen uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Elipsoid yüksekliği geometrik bir büyüklüktür ve uygulamada doğrudan kullanılamaz. Bunun yerine uygulamada herhangi bir noktanın çekül eğrisi boyunca jeoid olan uzaklığı olarak tanımlanan ortometrik yükseklikler kullanılır. Örneğin, suyun akış yönü ve arazinin deniz yüzeyine göre eğimi gibi fiziksel olgular elipsoid yükseklikleri ile değil, ortometrik yükseklikler kullanılarak belirlenebilir.

Ortometrik yükseklikleri elde etmenin birinci yöntemi, yüksekliği bilinen bir noktaya dayalı olarak geometrik nivelman ölçmeleri yapmak ve bu ölçülere gravite ile ilgili düzeltmeleri getirmektir. Nivelman ölçmeleri yüksek maliyet ve uzun bir ölçme süresi gerektirmektedir. Diğer taraftan, nivelman noktaları yol yenileme ve genişletme çalışmaları nedeniyle zaman içinde tahrip olmaktadır.

Ortometrik yükseklik belirlemenin ikinci yöntemi ise GNSS ölçülerinden elde edilen elipsoid yüksekliklerini ortometrik yüksekliklere dönüştürmektir. Bunun için hassas bir gravimetrik jeoid modelinin belirlenmesi ve bu modelden GNSS ölçüleri ile birlikte doğrudan kullanılacak "Dönüştürücü Yüzey" elde edilmesi gerekmektedir.

İkinci yöntemi kullanarak ortometrik yükseklik belirleme ile klasik geometrik nivelman ölçmelerine göre ölçme maliyetleri düşecek ve fotogrametri, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS uygulamalarında kullanılacak coğrafi verinin düşey konum doğruluğu artacaktır. Bu husus, ülke genelindeki

savunma ve özellikle de kalkınma amaçlı sivil haritacılık uygulamalarının (kadastro, imar planları ve büyük ölçekli harita uygulamaları vs.) daha düşük bir maliyetle, daha hızlı ve daha kolay yapılmasını sağlayacaktır. Bunun yanında, GNSS ölçüleri ile birlikte gerçekleştirilecek gerçek zamanlı hassas konum belirleme uygulamalarında ortometrik yükseklikler anlık olarak belirlenebilecek ve kullanıcılara anlık olarak sunulabilecektir.

GNSS ölçülerinden jeoid modeli kullanarak ortometrik yükseklik belirlemenin diğer faydaları ise aşağıda sunulmuştur:

- Sel riski daha doğru hesaplanabilecek ve böylece daha doğru risk sigorta bedeli haritaları oluşturulacaktır.
- Çökmeye ve erozyona eğilimi olan bölgelerde su kaynakları (yer altı ve yüzey suları) daha iyi yönetilebilecektir.
- Akıllı Ulaştırma Sistemleri (karayolu, raylı sistemler, hava, deniz) daha güvenli ve verimli bir duruma gelecektir.
- Deniz taşımacılığı ve deniz seyrüseferi daha güvenli yapılacaktır.
- Hassas ve akıllı tarım gerçek zamanlı GNSS uygulaması gerektirdiğinden, GNSS ile bulunan elipsoid yüksekliklerinin gerçek zamanda ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi eğimi yüksek tarımsal arazilerde akıllı tarım yapılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, yükseklik modernizasyonu yaklaşımı açıklanmış ve bu kapsamda örnek olarak NGS tarafından gerçekleştirilen bir proje incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, GOCE (Gravity and Ocean Explorer) ve GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydu gravite verilerinin jeoid belirlemede kullanılması ve GRACE uydu gravite verileri ve tekrarlı mutlak gravite ölçülleri kullanılarak jeoidin zamana bağlı değişiminin (hızının) modellenmesi ile ilgili hususlar ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde, uçaktan yapılan gravite ölçülerinin jeoid belirlemede kullanılması, beşinci bölümde ise hassas deniz jeoidi ve uydu altimetre ölçüleri kullanılarak denizlerde Ortalama Dinamik Topografyası (ODT) belirlemenin önemi üzerinde durulmuştur.

Altıncı ve son bölümde ise, geçmişten günümüze Türkiye'deki jeoid belirleme çalışmaları hakkında bilgi verilmiş ve yükseklik modernizasyonu yaklaşımı Türkiye açısından

incelenmiştir.

2. YÜKSEKLİK MODERNİZASYONU YAKLAŞIMI

Yüksek maliyetli geometrik nivelman ölçüleri yapmak yerine, GNSS'den bulunan elipsoid yüksekliklerini ortometrik yüksekliğe dönüştürmek amacıyla, yer potansiyel alanında tanımlı gravimetrik jeoid modelleri kullanılmaktadır. Özünde "Gravite yoksa yükseklik de yok graviteyi bil yüksekliği bil" (Taylor, 2012) ana fikri yer alan bu yaklaşım yükseklik modernizasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Bu yaklaşım örnek bir proje ele alınarak incelenmiştir. Bu, NGS tarafından 1998 yılında başlatılan ve 40 milyon ABD doları bütçesi olan yükseklik modernizasyonunun (NGS, 2011a) gerçekleştirilmesi amacıyla oluşturulan "Amerikan Düşey Datumunu Yeniden Tanımlamak için Gravite" (Gravity for the Re-definition of American Vertical Datum-GRAV-D) (NGS, 2011b) projesidir.

GRAV-D projesi ABD'nin düşey datumunu yeniden belirlemek amacıyla gravite ölçmeyi, gravimetrik jeoidi düşey datum olarak kullanmayı ve gravimetrik jeoidin zamana bağlı değişimlerini belirlemek için zamana bağlı gravite değişimlerini izlemeyi hedeflemekte ve üç temel bileşenden oluşmaktadır:

Yüksek Konumsal Çözünürlüklü Gravite Ölçüleri Yapılması: Bu bileşen büyük ölçüde uçaktan yapılan gravite ölçülerine dayalıdır. Yüksek bir konumsal çözünürlükte yapılacak uçaktan gravite ölçüleriyle, mevcut yersel gravite verilerindeki hataların düzeltilmesi ve gravite veri tabanının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Günümüzde uçaktan gravite geniş bölgelerin hızlı ve ekonomik olarak ölçülmesini sağlayan önemli bir araçtır (Forsberg ve Olesen, 2010).

Düşük Konumsal Çözünürlükte Gravitenin Zamana Bağlı Değişiminin Belirlenmesi: Gravitedeki zamanla değişimi izlemek amacıyla, mutlak gravite noktalarında tekrarlı ölçülerin yapılması planlanmıştır. Ayrıntıları daha sonra verilecek GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydusundan yaklaşık 400 km çözünürlükte jeoidin değişimi izlenebilmektedir. Tekrarlı mutlak gravite ve GRACE uydu verilerinin analiziyle, jeoidin zamana bağlı değişiminin modellenmesi hedeflenmiştir. Tekrarlı mutlak gravite ölçüleri yapmanın diğer alternatifi tekrarlı görelî gravite ölçüleri yapmaktır. Yazarın

düşüncesine göre, tekrarlı görelî gravite ölçüleri yapmak muhtemelen daha az masraflı olabilecektir, ancak NGS tarafından daha duyarlı sonuçlar elde edilmesi maksadıyla tekrarlı mutlak gravite ölçüleri yapılmasının tercih edilmiş olabileceği düşünülmektedir.

Gravite Alanındaki Yerel Değişimlerin İzlenmesi: Gravite alanındaki yerel değişimleri, tekrarlı mutlak gravite ve GRACE uydu verilerinin analiziyle izlemedeki zorluklardan dolayı, gravite alanındaki yerel değişimlerin bölgesel görelî gravite ölçüleriyle izlenmesi ve jeoid modellerinin zamana bağlı değişiminin hesaplanması hedeflenmiştir.

GRAV-D projesinin oluşturulmasının nedenleri aşağıda sunulmuştur:

Veri Boşlukları: ABD'de kıyından denize doğru 100 km genişliğindeki alanlarda çok az sayıda gravite ölçüsü mevcuttur. Denizlerde gravite verilerinin türetilmesinde kullanılan uydu altimetre tekniği derin sularda gravite verileri elde etmek için faydalı bir yöntemdir. Ancak, kıyı bölgelerde iyi sonuçlar vermemektedir. Diğer taraftan kıyısız deniz alanları gemiden gravite ölçüleri yapmak için çok sığdır ve bu bölgelerde gemi ile gravite ölçüleri yapmak da mümkün değildir.

Eski Gravite Verileri: Mevcut gravite ölçülerinin büyük bir kısmı NGS tarafından geçen yüzyılın ortalarında gerçekleştirilmiş ve en güncel gravite ölçüleri 1970-1980'li yıllarda yapılmıştır. Geçen 30-50 yılda olduğu bilinen yer kabuğu hareketleri dikkate alındığında mevcut verilerin günümüz gravite alanı ihtiyacını karşılamayacağı ve kullanıcıların güncel yükseklik bilgisi ihtiyacını gidermek için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Son yıllarda gelişen yeni teknolojilere paralel olarak sayısal ve otomatik görelî gravite ölçer aletleri geliştirilmiş ve yersel gravite ölçülerin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Timmen, 2010).

Gravite Verilerindeki Devamsızlıklar: NGS'in veri tabanında yaklaşık 2 milyon gravite ölçüsü olmasına rağmen, ölçüler çok farklı kaynaktan elde edilmiştir.

Verilerin Konumsal Dağılımındaki Dengesizlikler: Bir çok veri NGS personelinin arazi çalışmaları dışındaki diğer kaynaklardan toplanmıştır. Bu nedenle, konumsal dağılımda dengesizlikler bulunmaktadır. Ülkenin bazı bölgelerinde sık aralıklarla, bazı bölgelerde ise seyrek şekilde dağılmış gravite ölçüleri bulunmaktadır.

Zamanla Gravite Değişimi ile ilgili Bilgi Eksikliği: Kritik bölgelerde yapılacak tekrarlı mutlak gravite ölçüleri ve GRACE uydu gravite verilerinin analizi ile gravitenin zamana bağlı değişmesinden kaynaklanan ortometrik yüksekliklerdeki zamana bağlı değişimin izlenmesi ve modellenmesi hedeflenmiştir.

Mevcut Düşey Datumu Sürdürmedeki Güçlükler: Kullanıcılar, ABD'nin mevcut düşey datumu olan North American Vertical Datum-1988 (NAVD88)'ne göre olan yüz binlerce nivelman noktasının yükseliklerine NGS'in yayımladığı nokta protokolleri ile ulaşmaktadır. Nivelman noktalarının yükseklikleri düzenli olarak kontrol edilemediğinden, bu noktalar zaman içinde, inşaat ve yapılaşma çalışmaları nedenleriyle tahrip olmakta veya yerinden oynamaktadır. Bu nedenle, düşey datuma bağlı yükseklikleri nivelman noktaları yoluyla kullanıcılara sunmanın sürdürülebilir olmadığı değerlendirilmiştir. Bunun yerine NGS tarafından GNSS ve gravite ölçülerine dayalı olarak hesaplanacak jeoid modeli ile, kullanıcılara daha kaliteli ve daha hızlı bir hizmet sunulması hedeflenmiştir.

Yukarıda açıklanan nedenlerle, NGS'de hassas gravimetrik jeoid belirleme öncelikli bir proje haline gelmiştir.

NGS'in 2008-2018 dönemine ilişkin 10 yıllık, vizyon, misyon ve strateji dokümanına göre, NGS tarafından 2018 yılına kadar,

- a. Amerika kıtası boyutunda 1 cm doğruluklu bir gravimetrik jeoid modelinin hesaplanması,
- b. GNSS teknolojisi ve gravite alanının modellenmesiyle ortometrik yükseklikler için yeni bir düşey datum belirlenmesi,
- c. Yeni belirlenecek düşey datum ile mevcut NAVD88 datumu arasında dönüşüm bilgilerinin belirlenmesi,
- ç. Belirlenecek jeoid modelinin hem belirli bir epokta tanımlanmış jeoid yüksekliğini hem de jeoidin zamanla değişim bilgisini (hızını) içermesi,
- d. Hesaplanacak jeoidin ortalama deniz seviyesinin yükselmesini de dikkate alması,
- e. Jeoid modelinin (düşey datumun) güncel kalmasını sağlamak amacıyla gravite alanının, tekrarlı mutlak gravite, görelî gravite ve uçaktan gravite ölçüleri yaparak ve uydu gravite verileri (GRACE) kullanılarak izlenmesi öngörülmüştür.

GRAV-D projesinde başlangıçta öngörülen çalışmalara ilave olarak hesaplanacak gravimetrik jeoidin karasal alanda kontrolü ile ilgili hususlar da proje çalışmalarına 2011 yılı

içerisinde dahil edilmiştir. Buna göre; NGS 1 cm gravimetrik jeoid hedefine ulaşıp ulaşılamadığını test etmek ve ulaşılabilen gravimetrik jeoid doğruluğunu tespit etmek amacıyla, gravimetrik jeoidin yeni datum olarak kullanılacağı 2022 yılına kadar çeşitli yöntemlerle test edilmesini planlamaktadır. Bunlardan ilki "Jeoid Eğimi Doğrulama Ölçüsü 2011" dir (NGS, 2012). Ölçüler, noktalar arasındaki NGS gravimetrik jeoid modellerinden elde edilen görelî jeoid yüksekliğinin doğruluğunu test edecektir. Karşılaştırma için seçilen 300 km uzunluğunda bir hat üzerinde jeoid eğimlerinin birbirinden bağımsız iki yöntemle hesaplanması planlanmıştır :

a. Sırasıyla nivelman ve GPS kampanyalarından elde edilecek görelî ortometrik ve GPS ölçüleri.

b. İsviçre DIADEM kamerası ile yapılacak Astro-jeodezik çekül sapması bileşenleri ölçüleri (NGS, 2012).

3. UYDU GRAVİTE VERİLERİNİN JEOİD BELİRLEMEDE KULLANILMASI

Son yıllarda uydu gravimetresi ile ilgili olarak önemli gelişmeler yaşanmıştır. 2002 yılında ABD Uzay Ajansı (NASA) ve Alman Uzay Merkezi (DLR) tarafından ortak olarak yörüngeye yerleştirilen GRACE uydu sistemi birbirini takip eden iki uydudan oluşmaktadır. İki uydu arasındaki yer gravite alanı nedeniyle oluşan konum değişimleri yüksek bir doğrulukta ölçülmekte ve bunlar gravite verilerine dönüştürülmektedir. GRACE uydularının temel amacı görev süresi boyunca yer gravite alanına ilişkin bugüne dek ulaşılamayan duyarlılıkta küresel yüksek çözünürlüklü yer potansiyel modelleri oluşturmaktır. Yaklaşık 10 günde bir oluşturulan bu modellerle gravite alanındaki zamana bağlı değişimler izlenebilmektedir. GRACE uydularının statik jeoid belirlemeye yönelik temel ürünü diğer jeodezik ölçülerle birleştirilerek üretilen yer gravite modelleridir. GRACE verileri ile elde edilen yer gravite modelleri yersel gravite ölçülerindeki uzun dalga boyundaki sistematik hataların belirlenmesinde kullanılmaktadır (Huang vd., 2008).

Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından Yer Keşif Programı kapsamında 17 Mart 2009 tarihinde GOCE uydusu uzaya gönderilmiştir. GOCE uydusunun ana ölçme cihazı her ekseninin iki ucunda bulunan yüksek duyarlılık ivme ölçerler olup, tüm

ölçüm sisteminin 3 eksenli bir gravite gradyometresi olarak çalışması hedeflenmiştir. Bu diferansiyel ölçmeler ile gravite potansiyelinin 2'nci türevleri elde edilmektedir. GOCE uydusunun yaklaşık 20 ay süre ile hizmet vermesi planlanmıştır. Bu süre sonunda yüksek çözünürlüklü ve yüksek duyarlıklı bir Yer potansiyel modeli ve buna bağlı olarak yüksek doğruluklu bir jeoid modeli hesaplanabilecektir. GOCE uydusu ile; fiziksel yeryüzünde yaklaşık 100 km. konumsal çözünürlükte gravite anomalilerinin 1 mGal ve jeoidin 1 cm doğrulukla belirlenmesi hedeflenmektedir (ESA, 1999). Bu hedefin gerçekleşmesiyle; harita üretimi ve jeodezik çalışmalarda kullanılacak yükseklik referans sisteminin oluşturulması, yer kabuğunun iç yapısının ve tektonik olayların araştırılması, okyanuslardaki akıntı dolaşımı ve ısı transferinin daha iyi anlaşılması, kutuplardaki buzul kütle hareketlerinin daha yüksek bir doğrulukla izlenmesi olanaklı hale gelecektir (ESA, 1999; Karlıoğlu, 2005; Kılıçoğlu, 2009).

Tscherning (2001) tarafından yerel ve bölgesel jeoid belirlemedeki temel hataların, jeoidin referans yüzeyi olarak kullanılan küresel Yer potansiyel modellerindeki hatalardan kaynaklandığı, GOCE uydu verilerinin kullanılmasıyla bu hataların 5-10 kat azalacağı ve böylece yerel ve bölgesel jeoidlerin birkaç cm hatayla belirlenebileceği ifade edilmiştir.

Forsberg vd. (2007) tarafından, GOCE verilerin elde edilmesiyle birlikte, deniz jeoidi hatalarının önemli ölçüde azalacağı ve böylece ODT modellerinin daha yüksek bir doğrulukla belirleneceği ifade edilmiştir.

GRACE uydu verileri kullanılarak yaklaşık 400 km konumsal çözünürlükte gravite ve jeoidin zamana bağlı değişimini belirlemek mümkündür. Mutlak gravite noktalarında yapılan tekrarlı mutlak gravite ölçüleri ile noktasal olarak, GRACE uydu verileri kullanılarak düşük çözünürlükte hesaplanan jeoid değişimlerinin birleştirilmesi ile jeoid ve jeoid hızı modellenmektedir (Rangelova ve Sideris, 2006).

4. UÇAKTAN GRAVİTE ÖLÇÜLERİNİN JEOİD BELİRLEMEDE KULLANILMASI

Schwarz ve Li (1996), uçaktan gravite ölçülerinin jeoid belirleme için uygunluğunu araştırmış ve uçaktan gravite ölçülerinin cm düzeyinde bir doğrulukta jeoid yüksekliği belirleme ve küresel gravite haritasındaki veri

boşluklarını doldurma potansiyeli olduğu sonucuna varmıştır. Günümüzde uçaktan gravite geniş bölgelerin hızlı ve ekonomik olarak ölçülmesini sağlayan önemli bir araçtır. Uçaktan gravite sadece, geniş alanların, kutuplar ve dağlık alanlar gibi ulaşılamayan bölgelerin gravite alanını belirlemeye değil aynı zamanda, kara ve deniz alanlarında görünmez bir ölçü sağlamakta ve kıyı alanlarında jeodezik ölçüler ve ortalama dinamik topografyanın belirlenmesi için ihtiyaç duyulan doğru jeoid modellerine imkan sağlamaktadır (Forsberg ve Olesen, 2010).

Uçaktan gravite ölçüleri eğer uygun bir biçimde analiz edilir, bağlantı ve alet düzeltmelerine dikkat edilirse 2 mGal doğrulukla gravite ölçüleri elde etmek mümkündür (Forsberg vd., 2000; Hwang vd., 2007; Forsberg ve Olesen, 2010).

Uçaktan gravite ölçüleri yersel tekniklerle gravite ölçmenin mümkün olmadığı büyük göller, geniş dağlık ve ormanlık alanlar ile sığ olması nedeniyle gemiden gözlem yapılması mümkün olmayan kıyısız deniz alanlarında yüksek doğruluklu gravite ölçülerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Forsberg ve Olesen, 2010). Bu nedenle, her geçen gün daha fazla sayıda ülke tarafından kullanılmaktadır (Forsberg ve Olesen, 2010; Hwang vd., 2007).

Uçaktan gravite ölçülerinin, GOCE uydusundan türetilen gravite alanı modellerinin çözünürlüğünün yükseltilmesinde ve GOCE uydu verileriyle birlikte mevcut yersel gravite verilerinin kontrol edilerek bunlardaki olası hataların belirlenmesinde kullanılması önerilmektedir (Tscherning, 2001).

5. DENİZLER İÇİN ORTALAMA DİNAMİK TOPOGRAFYASININ MODELLENMESİ

Ulusal düşey kontrol ağları ile sağlanan yükseklikler, ağların oluşturulması süresinde meydana gelen düşey yer kabuğu hareketleri ve geometrik nivelman ölçülerindeki hatanın ölçü yapılan mesafeye orantılı olarak artması nedeniyle bir takım hatalar içermektedir. Ulusal düşey kontrol ağına datum bağlantısı olan mareograf istasyonları mevcut ulusal nivelman ağlarındaki hata birikimlerinin belirlenmesinde bir kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, karasal alanlarda gravimetrik jeoidin testinde kullanılan GPS/nivelman noktaları ulusal nivelman ağlarında zaman içerisinde oluşan sistematik hatalar, yerel hareketler ve jeodinamik etkiler nedeniyle nivelman röper noktalarının

zamanla oluşan yer değiştirmeleri nedeniyle hesaplanacak gravimetrik jeoid modellerinin testinde tam olarak uygun bir veri seti olmayabilir. Örneğin, Wang vd. (2011) Amerika'daki GPS/nivelman noktalarının gravimetrik jeoid modelini test etmek için tamamen uygun bir veri seti olmayabileceğini çünkü GPS/nivelmanla elde edilen jeoid yüksekliklerinin Amerika düşey kontrol ağı (NAVD88)'ndeki nivelman hataları ve nivelman röper noktaların zamanla hareketlerinden olumsuz olarak etkilenmiş olabileceğini ifade etmektedir. Wang vd. (2011) ayrıca, Amerika GPS/nivelman jeoid yüksekliklerindeki hataların büyüklüklerinin gravimetrik jeoid ile yayılan hatalardan daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle, Wang vd. (2011) hesaplanan gravimetrik jeoidi kontrol etmek amacıyla ikinci test veri seti olarak NAVD88'den ve nivelman röper noktalarından bağımsız olan GPS ölçüsü yapılmış Amerika kıyılarında yer alan mareograf istasyonlarından elde edilen ortalama deniz seviyesi (ODS) ve Meksika körfezinde fiziksel oşinografik verilerden elde edilen ve mareograf istasyonu ve gravimetrik jeoidten bağımsız ortalama dinamik topografya (ODT) verilerini kullanmıştır.

Mareograf istasyonlarında ölçülen deniz seviyesi verilerinden elde edilen ortalama deniz seviyesi değerlerinin jeoidde dönüştürülmesi gerekir. Bu ancak, ODS değerlerine ODT adı verilen ve jeoid ile ODS arasındaki fark olarak tanımlanan fiziksel büyüklüğün eklenmesiyle mümkündür. ODT değeri dünya genelinde, 1-2 metre büyüklüğüne ulaşabilmektedir.

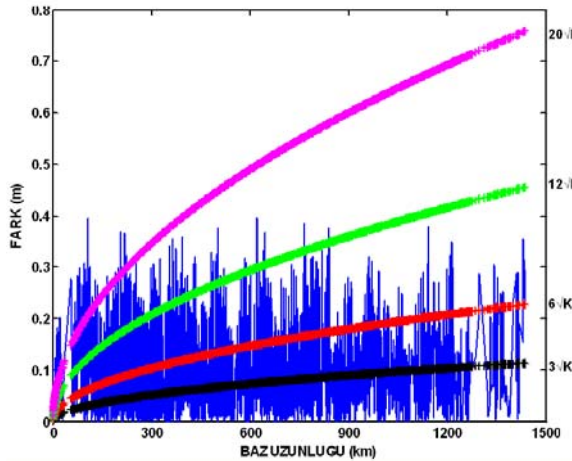
GOCE uydu gözlemlerinden belirlenecek deniz jeoid modellerinin uydu altimetre ölçülerinden elde edilen Ortalama Deniz Yüzeyi modelleri ile birleştirilmesi ile yüksek bir doğruluklu ODT modelleri belirlenmektedir (Knudsen vd., 2011). ODT değerleri, ulusal düşey kontrol ağlarına bağlantısı olan mareograf istasyonlarında belirlenen ortalama deniz seviyesi (ODS) değerlerine eklenerek her bir mareograf istasyonunda jeoid yüzeyi belirlenebilecektir. Böylece, gravimetrik jeoid modellerinin kıyasal alanlarda dış kontrolü (mutlak testi) sağlanacak hem de karasal alanlarda jeoidin dış kontrolünde kullanılan GPS/nivelman jeoid yükseklik doğruluğu ile doğrudan bağlantılı olan mevcut ulusal düşey kontrol ağlarındaki sistematik hata birikiminin ortaya çıkarılması sağlanabilecektir.

6. TÜRKİYE'DE JEİD BELİRLEME ÇALIŞMALARI VE YÜKSEKLİK MODERNİZASYONU YAKLAŞIMININ TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye'de jeoid belirleme ile ilgili çalışmalar 1970'lerde başlamıştır. Ayan (1978) ve Gürkan (1978) 98 astronomi noktasındaki çekül sapması bileşenlerini kullanmıştır. Bilgisayar olanaklarının artması, ölçü tür ve sayılarının çoğalması ve hesaplama yöntemlerinin gelişmesi ile 1991 yılında gravite, topoğrafya ve küresel Yer potansiyel model kullanılarak tüm Türkiye için gravimetrik jeoid (Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91)) En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemi ile hesaplanmıştır (Ayhan, 1993). TG-91, Türkiye'de ilk kez örnekleme yüksek heterojen veri kullanılarak hesaplanan ve topoğrafya ve gravitenin kısa ve çok kısa dalga boyulu etkilerini de içeren bir gravimetrik jeoid modelidir (Kılıçoğlu, 2002). Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)'nın oluşturulmasıyla birlikte tutarlı ve homojen elipsoid yüksekliği belirlemek mümkün hale gelmiştir. Seçilen 197 TUTGA noktasının Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA)'na dayalı olarak duyarlı geometrik nivelman ölçüleriyle ortometrik yükseklikleri belirlenmiştir (Ayhan vd., 2002). Böylece, GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri elde edilmiştir. TG-91 gravimetrik jeoidi ile GPS/Nivelman jeoidi ile tam olarak uyuşmamakta ve aralarında kayıklık ve eğim gibi uzun dalga boyunda etkili farklar bulunmaktadır. Bu nedenle, GPS/Nivelman jeoidi ile TG-91 jeoidinin birleştirilerek GPS ile uyumlu jeoid modelinin oluşturulması için TUTGA-99 kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99) hesaplanmıştır (Ayhan vd., 2002). TG-99 jeoidi ilave GPS/Nivelman noktaları ile güncelleştirilmiş ve TG-99'un ilk (A) güncelleştirilmesi, TG-99A olarak anılmıştır (Kılıçoğlu, 2002). TG-99A GPS ölçülerinden elde edilen elipsoid yüksekliklerini TUDKA datumuna dönüştürü bir yüzeydir.

TG-99A'nın yaklaşık 10 cm iç duyarlılığa ve 15 cm dış doğruluğa sahip olduğu orta ve küçük ölçekli coğrafi materyal üretiminde doğrudan kullanılabilmesi değerlendirilmiştir (Kılıçoğlu, 2002). Yıldız ve Simav (2005) tarafından TG-99A jeoid modeli 106 adet GPS/nivelman noktası arasındaki bazlar boyunca yükseklik farkları kullanılarak görel olarak da test edilmiş ve TG-99A jeoid modelinin Türkiye'de nivelman ölçü kriterlerini karşılayıp karşılamadığı araştırılmıştır (Şekil 1). Sonuçta ise, TG-99A'nın uzun bazlarda, birinci ve ikinci derece hassas nivelman ölçme kriterlerini, kısa bazlarda ise hem seri hem de hassas nivelman ölçü kriterlerini karşılayamadığı

tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. TG-99A dönüştürücü yüzeyinin görelî olarak testi (Yıldız ve Simav, 2005)

Kılıçoğlu (2002) tarafından TG-99A'nın 1:5000 ve daha büyük ölçekli harita üretiminde ise 4-6 nokta ile oluşturulacak yerel GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ile kontrol edilerek ve bölgesel olarak güncelleştirilerek kullanılması önerilmektedir. 2005 yılında yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde TG-99A'nın bölgesel olarak iyileştirilmesi ile ilgili hususlar yer almaktadır. Bu Yönetmeliğe göre, jeoidin bölgesel olarak iyileştirilmesi için çalışma bölgesinde uygun dağılımda belirlenecek yer kontrol noktalarında GPS ölçüsü yapılması ve bu noktalara, yakınlarında yer alan TUDKA nivelman noktalarından geometrik nivelman ile ortometrik yükseklik taşınması gerekmektedir. Bu noktalarda belirlenen bölgesel GPS/nivelman jeoidleri ile TG-99A arasındaki fark bir yüzey ile modellenerek jeoid bölgesel olarak iyileştirilmektedir. Söz konusu Yönetmelik, gerekli kontrollerin yapılması durumunda TG-99A'nın büyük ölçekli harita üretimi için tek başına kullanılabileceğini öngörmekle birlikte, diğer durumlarda TG-99A'nın bölgesel olarak iyileştirilmesi için çalışma bölgesi yakınında TUDKA nivelman noktalarına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar, TUDKA kapsamındaki nivelman noktalarının özellikle yol yapım çalışmaları nedeniyle zaman içerisinde tahrip olmuş olmaları ve bazı bölgelerde ulusal düşey kontrol ağında oluşan bölgesel deformasyonlardır. Bir süre sonra, ülkemizde kullanıcıların 10-15 cm doğruluğa sahip TG-99A gibi bir dönüşüm yüzeyini bölgesel olarak iyileştirecek TUDKA nivelman noktalarını fiziksel olarak bulamayabileceği değerlendirilmektedir. Daha da önemlisi ulusal düşey kontrol ağında

olası sistematik veya tamamen yerel deformasyonların belirlenmesi ve modellenmesindeki eksiklidir. Bu hususlar, geometrik nivelman ölçüleriyle bölgesel olarak iyileştirmeye ihtiyaç duymadan TUSAGA-Aktif sistemiyle birlikte doğrudan düşey datum olarak kullanılacak ülke genelinde 2-3 cm doğruluklu bir Türkiye Gravimetrik Jeoidini belirlemenin önemini göstermektedir.

Yıldız vd. (2005) tarafından, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) (Yıldız vd., 2003) kapsamındaki 7 adet mareograf istasyonu GPS noktalarının elipsoid yüksekliklerinden, bu noktaların ODS'den olan yükseklik farklarının çıkarılması ile GPS/Mareograf-ODS jeoid yükseklikleri hesaplanmıştır. GPS/Mareograf-ODS jeoid yükseklikleri, bu noktalarda kestirilen TG-99A jeoid yükseklikleri ile karşılaştırılmış ve aralarında 1 m.'ye varan farklar bulunmuştur. Söz konusu bu farkların, ODT ve ODT'deki uzun dalga boyulu etkiler, TG-99A'daki olası uzun dalga boyulu hatalar, ODS'lerdeki düşey yer kabuğu hareketleri ve küresel deniz seviyesi değişimleri gibi nedenlerden kaynaklan düşey atım etkilerini içerdiği değerlendirilmiştir. Daha güvenilir karşılaştırmaların yapılabilmesi için mareograf istasyonlarında yakınında uydu altimetre ölçüleri ve deniz jeoid modelleri kullanılarak ODT değerinin hesaplanması önerilmiştir.

TG-99A jeoid modelinden sonra ülkemizde Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03) hesaplanmıştır Kılıçoğlu vd. (2005a). TG-03 jeoid modelinin doğruluğu yaklaşık 10 cm'dir. TG-03 jeoid modelinin hesabında, EGM96 küresel Yer potansiyel modeli, TG-91 gravimetrik jeoidinin hesabında kullanılan yaklaşık 62,500 adet yersel gravite ölçüsü, denizlerde Kılıçoğlu (2005b) tarafından uydu altimetre ölçülerinden türetilen deniz gravite anomalileri, 450 m aralıklı 1:25.000 ölçekli haritalardaki eş yükseklik eğrilerinin sayısallaştırılmasından elde edilen sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Gravimetrik jeoid hesaplamada TG-91'de olduğu gibi EKKK yöntemi kullanılmıştır.

Küresel Hızlı Fourier Dönüşümü (KHFD) (Forsberg ve Sideris, 1993) yöntemi kullanılarak Türkiye Jeoidi-2007 (TG-07) hesaplanmıştır (Yıldız vd., 2006). TG-07'nin hesabında, TG-03'den farklı olarak küresel Yer potansiyel modeli olarak EGM96 küresel Yer potansiyel modeli ile GRACE GGM02S küresel Yer potansiyelinin birleştirilmesiyle elde edilen bir Yer potansiyel model, yaklaşık 90 metre aralıklı SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission-3) verilerinden elde

edilen sayısal yükseklik modeli ve KMS02 deniz gravite anomalileri kullanılmıştır. Elde edilen gravimetrik jeoid Türkiye’de GPS/nivelman jeoidi ile birleştirilerek TG-07 olarak adlandırılan “Dönüştürücü Yüzey” hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan GPS/nivelman noktalarıyla yapılan karşılaştırmalarda TG-07’nin doğruluğu 8.8 cm olarak tespit edilmiştir.

Türkiye Jeoidi-2009 (TG-09), EGM08 (Earth Geopotential Model-2008) (Pavlis vd., 2008) küresel Yer potansiyel modeli olarak kullanılarak hesaplanmıştır (Kılıçoğlu vd., 2011). TG-09 hesabında, EGM08 kullanılmış ve hesaplamalar Küresel Hızlı Fourier Dönüşümü (Forsberg ve Sideris, 1993) yöntemi ile yapılmıştır. Denizlerde, uydu altimetre ölçülerinden üretilen DNSC08 gravite anomalileri (Andersen vd., 2010) kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli olarak ise Harita Genel Komutanlığı tarafından 1:25.000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılarak üretilen 90 metre aralıklı sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. TG-09’da kara alanlarına ait gravite ölçüleri Maden Tektik Arama Genel Müdürlüğü ve Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı’ndan temin edilen ilave gravite verileri ile birlikte toplam 262,212 adettir. TG-09 jeoid modelinin doğruluğu 8.4 cm olarak hesaplanmıştır (Kılıçoğlu vd., 2011).

TG-09’ın hesabında (Kılıçoğlu vd., 2011), TG-07 (Yıldız vd., 2006) ve TG-03 (Kılıçoğlu vd., 2005a) jeoid modellerine göre yaklaşık dört kat yersel gravite verisi kullanılmasına rağmen anlamlı bir doğruluk artışı sağlanamamıştır. Benzer bir durum, Omang ve Forsberg (2002) tarafından Kuzey Avrupa’da yapılan araştırmalar da görülmüş, daha fazla gravite ölçüsünün verilerdeki olası sistematik hatalar nedeniyle daha iyi bir jeoid belirlemek anlamına gelmeyeceği sonucuna varılmıştır. İlave yersel gravite verisi eklenmesine rağmen TG-09 ile doğrulukta anlamlı bir artış görülmemesinin üç nedeni olabileceği düşünülmektedir. Birincisi, uzun bir dönemde farklı kurumlar tarafından yapılan yersel gravite ölçülerindeki muhtemel hatalar, ikincisi, mevcut gravite ölçülerinin ülke genelinde homojen bir dağılımda olmaması, üçüncüsü ise TUDKA’daki olası hatalardır. Bu hususlardan birinci ve ikincisinin araştırılması için mevcut yersel ölçülerden bağımsız olarak yapılacak homojen dağılımlı yeni yersel gravite ölçülerine, dağlık, göl alanları ve kıyısız alanlarda uçaktan gravite ölçülerine ve mevcut gravite verilerindeki uzun dalga boylu hataların araştırılması için ise GOCE uydu gravite verilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Üçüncüsünün araştırılması için ise beşinci

bölümde açıklandığı gibi mareograf istasyonlarında jeoid yüzeyleri belirlenerek TUDKA’daki hata birikimlerinin incelenmesi gerekmektedir. Ancak, söz konusu hata birikimlerinin belirlenmesi tek başına yeterli değildir, çünkü TUDKA’da zamanla oluşan yerel deformasyonları belirlemek ve modellemek olanaklı gözükmemektedir.

Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Açık-Aktif (TUSAGA-Aktif) ile Türkiye’de gözlem sonrası veri değerlendirmesi ile noktasal yatay konum bilgileri 1 cm, elipsoid yükseklikleri 2-3 cm doğruluğunda elde edilebilmektedir (Aktuğ, 2011). Bu istasyonlardan elde edilen veriler, harita üretimi, coğrafi bilgi sistemlerinin oluşturulması, kadastro çalışmaları, akıllı tarım uygulamaları, mühendislik yapılarındaki deformasyon belirleme çalışmaları, erken uyarı çalışmaları, yol ve yön bulma çalışmaları, tektonik hareket izleme çalışmaları ve araç takip sistemleri çalışmalarının da aralarında bulunduğu birçok alanda kullanılmaktadır.

TUSAGA-AKTİF’in kullanıcılara sağladığı yatay koordinatlardaki cm mertebesindeki doğruluğun yükseklik bilgisinde de sağlanması için ülke genelinde 2-3 cm doğruluğunda bir gravimetrik jeoidin belirlenmesi ve bunun düşey datum olarak kullanılması ve GNSS’den elde edilen elipsoid yükseklikleri ile ilişkilendirilerek TUSAGA-AKTİF sistemiyle bütünleştirilmesi gerekmektedir.

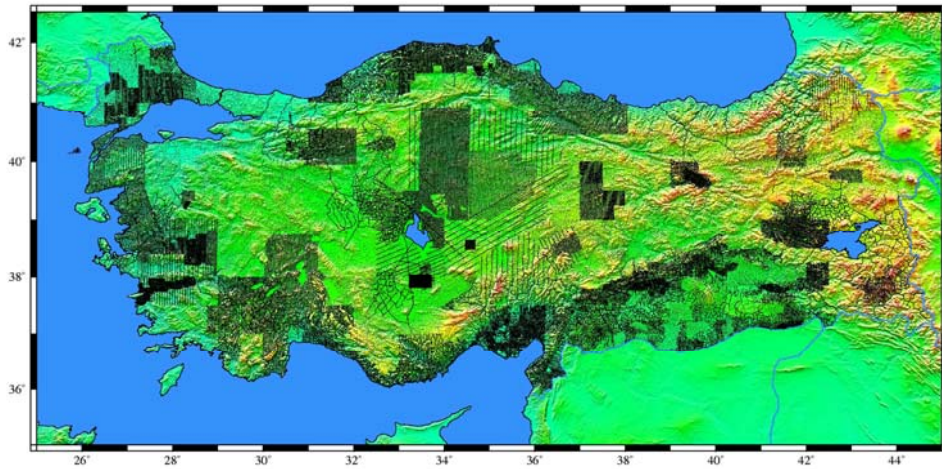
Ancak, Türkiye için ülke genelinde 2-3 cm doğruluklu bir gravimetrik jeoid belirlemek kolay değildir. Türkiye’de Van Gölü gibi geniş göller ve uzun kıyısız deniz alanlarında gravite ölçüsü bulunmamakta ve doğusu dağlık alanlarında çok seyrek bir biçimde gravite ölçüleri bulunmaktadır. Türkiye için en son hesaplanan TG-09 jeoid modelinde kullanılan kara alanlarına ait gravite ölçülerinin tüm Türkiye için dağılımı Şekil 2’de, Van Gölü ve çevresindeki dağılımı ise Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde Türkiye’de gravite ölçülerinin dağılımı homojen değildir ve dağlık alanlarda az sayıda gravite ölçüsü bulunmakta, göllerde ve uzun kıyısız alanlarda hiç gravite ölçüsü bulunmamaktadır. Bu durum, Türkiye gravimetrik jeoid modelinin genel ve bölgesel doğruluğunu olumsuz olarak etkilemektedir.

Bu nedenle, Türkiye’de ölçü olmayan alanlarda gravite ölçüleri yapılarak ülke genelinde homojen dağılıma sahip bir ulusal gravite veri tabanı oluşturulması gerekmektedir. Düz alanlarda yersel gravite ölçüleri, dağlık göl

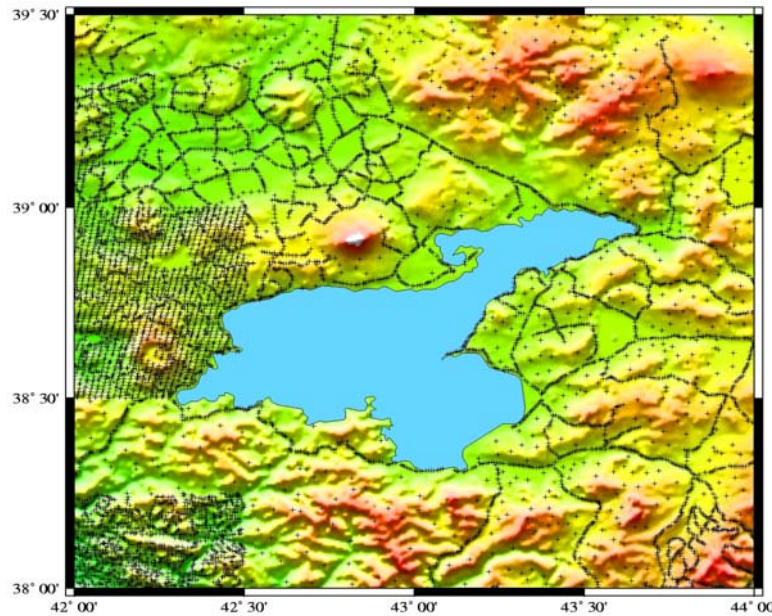
alanları ve kıyusal alanlarda ise uçaktan gravite ölçüleri yapılarak bunun gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, yeni yapılacak gravite ölçüleri ve GOCE uydu gravite verileri kullanılarak mevcut yersel gravite ölçülerindeki hataların giderilebileceği düşünülmektedir.

Diğer taraftan yapılacak yeni gravite ölçüleri ve mevcut ölçülerdeki olası hataların giderilmesinden sonra hesaplanacak yeni Türkiye gravimetrik jeoidinin doğruluğunun kontrol edilmesi de önem arz etmektedir. Bunu, yukarıda beşinci kısımda açıklandığı gibi kıyılarda uygun dağılımlı mareograf istasyonlarındaki ODS ve GOCE ve uydu altimetre verilerinden elde edilecek ODT değerleri ile kontrol etmek

mümkündür. Ancak karasal alanlarda bu kontrolün yapılması için nivelman ağına bağlantısı yapılmış GPS/nivelman noktalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu konuda Türkiye'nin karşı karşıya olduğu problem mevcut TUDKA nivelman ağındaki sistematik ve yerel düşey deformasyonlar ve nivelman röper noktalarının çeşitli nedenlerle tahrip olmuş olmalarıdır. Kılıçoğlu vd. (2011)'de TUDKA'da zamanla oluşan düşey deformasyonun 40 cm'ye varabileceği ifade edilmektedir. Bunu gidermek için ülke genelinde yeni bir nivelman ağı tesis etmek de çözüm değildir çünkü, hem maliyeti çok yüksek bir iş olup hem de yeni oluşturulacak



Şekil 2. Türkiye Jeoidi-09'un hesabında kullanılan 262,212 adet yersel gravite ölçü noktalarının dağılımı. Gravite ölçüsü olan noktalar siyah artı işareti ile gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye Jeoidi-09'un hesabında kullanılan yersel gravite ölçülerinin Van Gölü ve çevresindeki dağılımı. Gravite ölçüsü olan noktalar siyah artı işareti ile gösterilmiştir.

Nivelman ağında da zamanla benzer deformasyonlar oluşacaktır. Ülke genelinde yapılacak nivelman ölçüleri ile mesafeye bağlı hata birikimleri oluşacak, nivelman röper noktaları zamanla yer değiştirecek veya tahrip olacaktır. Bu nedenle, Türkiye’de yeni nivelman ölçüleri, GRAV-D projesinde de öngörüldüğü gibi sadece karasal alanlarda seçilecek bazı kısa hatlar boyunca Türkiye gravimetrik jeoidin görelisi olarak test edilmesinde kontrol verisi olarak kullanılmak amacıyla yapılmalıdır.

Sonuç olarak, Türkiye için, ülke genelinde nivelmanın mesafeye bağlı hata birikimine neden olması, zamanla bağlı yerel deformasyonlar ve röper noktalarının çeşitli nedenlerle zaman içinde tahrip olması nedeniyle nivelman tabanlı düşey datum yerine, jeodinamik aktiviteden ve yerel deformasyonlardan çok daha az etkilenen gravimetrik jeoidin düşey datum olarak kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Düşey datum olarak kullanılacak gravimetrik jeoidin doğruluğunun kıyılarda mareograf istasyonlarında test edilebileceği değerlendirilmektedir. Karasal alanlarda ise seçilecek kısa hatlar boyunca gravimetrik jeoid modeli görelisi olarak test edilebilir, bu amaçla seçilen kısa hatlar boyunca hassas nivelman ve GPS ölçüleri gerçekleştirilebilir. Kamera ile yapılacak astro-jeodezik çekül sapması bileşenleri ölçümlerinin Türkiye gravimetrik jeoid modellerinin doğruluğunda kullanılması konusunun ise ayrıca araştırılmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür. Yazar, 22 Ağustos 2010-21 Ağustos 2011 tarihleri arasında bir yıl süre ile Danimarka Teknik Üniversitesi Ulusal Uzay Enstitüsünde gerçekleştirilen “Hassas Jeoid Belirleme, Uçaktan ve Uydudan Gravite Alanı Modelleme” isimli TÜBİTAK 2219 Doktora Sonrası Araştırma Bursu kapsamında TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Dairesi Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Bu makalenin önemli bir kısmı söz konusu burs sırasında yazılmıştır. Makaleyi inceleyen hakemlerden Doç.Dr.Müh.Yb.Bahadır AKTUĞ’a ve ismi bilinmeyen diğer iki hakeme yapıcı eleştiri ve önerilerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B. (2011). **Kişisel Görüşme.**
- Andersen O.B, Knudsen P., Berry P.A.M. (2010). **The DNSC08GRA global marine gravity field from double retracked satellite altimetry.** Journal of Geodesy 84, 191-199.
- Ayan, T. (1978). **Türkiye Geoidi.** Harita Dergisi, Sayı 85, 5-17.
- Ayhan, M.E. (1993). **Geoid Determination in Turkey (TG91).** Bulletin Geodesique, 67: 10-22.
- Ayhan, M.E., Demir C., Lenk O., Kılıçoğlu A., Aktuğ B., Açıkgöz M., Fırat O., Şengün Y.S., Cingöz A., Gürdal M.A., Kurt A.İ., Ocak M., Türkezer, A., Yıldız H., Bayazıt N., Ata M., Çağlar, Y., Özerkan A. (2002). **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999A (TUTGA-99A).** Harita Dergisi, Özel Sayı 16, 67 sayfa.
- ESA, (1999). **Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer Reports for Assessment.** ESA SP-1233 (1), ESTEC, Noordwijk.
- Forsberg, R. and Olesen A.V. (2010). **Airborne Gravity Field Determination.** Gouchang Xu (Ed.): Sciences of Geodesy-I, Monograph, Springer Verlag, pp. 83-104. DOI 10.1007/978-3-642-11741-1_3.
- Forsberg, R., Skourup, H., Andersen O.B., Laxon, S., Ridout, A., Braun, A., Johannessen, J., Siegismund, F., Tscherning, C.C., Knudsen, P. (2007). **Combination of Spaceborne, Airborne and Surface Gravity in Support of Arctic Ocean Sea-Ice and MDT Mapping.** Proceedings of the 3rd International GOCE User Workshop, ESA-ESRIN, Frascati, Italy, 6–8 November 2006 (ESA SP-627, January 2007).
- Forsberg, R. Olesen A., Bastos L., Gidskehaug A., Meyer U., Timmen L. (2000). **Airborne geoid determination.** Earth Planets Space, 52, 863-866.
- Forsberg, R., Sideris, M. (1993). **Geoid computations by the multi-band spherical FFT approach.** Manuscripta Geodetica, 18, pp 82-90.

- Gürkan, O. (1978). **Astrojeodezik ağların deformasyonu ve Türkiye I. Derece triyangülasyon ağı**. KTÜ Yayın No. 104, YBF Yayın no. 21, KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Huang, J., Veronneau, M., Mainville, A. (2008). **Assessment of systematic errors in the surface gravity anomalies over North America using the GRACE gravity model**. Geophys. J. Int., 175, 46-54, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03924.x.
- Hwang, C., Hsiao Y.-S., Shih, H.-C., Yang, M., Chen K.-H., Forsberg, R. Olesen, A.V. (2007). **Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey: Data reduction and accuracy assessment**. J. Geophys. Res., 112, B04407, doi:10.1029/2005JB004220.
- Karlıoğlu, M.O. (2005). **Uydu Gradyometresi ve GOCE Uydusu**. Harita Dergisi, 135, 26-41.
- Kılıçoğlu, A., Direnç A., Yıldız, H., Bölme, M., Aktuğ, B., Simav, M., Lenk, O., (2011) **Regional gravimetric quasi-geoid model and transformation surface to national height system for Turkey (THG-09)**. Studia Geophysica and Geodetica, 55, 557-578, DOI: 10.1007/s11200-010-9023-z.
- Kılıçoğlu, A. (2009). **Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (GGOS) ve Yer Gravite Alanı: Türkiye Açısından Bir İnceleme**. Harita Dergisi, 142, 17-31.
- Kılıçoğlu, A., Fırat O., Demir, C. (2005a). **Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'nin hesabında kullanılan ölçüler ve yöntemler**. TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon.
- Kılıçoğlu, A. (2005b). **Gravity anomaly map over the Black Sea using corrected sea surface heights from ERS1, ERS2 and TOPEX/POSEIDON satellite altimetry missions**. Studia Geophysica and Geodetica, 49, 1-12.
- Kılıçoğlu, A., (2002). **Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi -1999 (TG-99A)**. TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı, 153-167. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İznik.
- Knudsen, P. Bingham, R., Andersen, O., Rio M-H. (2011). **A global mean dynamic topography and ocean circulation estimation using a preliminary GOCE gravity model**. Journal of Geodesy, 85, 861-879.
- Omang, O.C.D., Forsberg, R. (2002). **The northern European geoid: a case study on long-wavelength geoid errors**. Journal of Geodesy, 76., 369-380, DOI.10.1007/s00190-002-0261-x.
- Pavlis, N, Holmes, S., Kenyon, S., Factor, J. (2008). **An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008**. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria.
- Rangelova, E., Sideris M.G. (2006), **Combination of GRACE, Gravity and GPS Data for Determination of Long-Term Geoid Changes in North America**. Proceedings of The 1st International Symposium of The International Gravity Field Service, "Gravity Field of the Earth, 28 August - 1 September 2006, Harita Dergisi, Özel Sayı:18, 437-442.
- Schwarz, K.-P., Li Y. C. (1996). **What can airborne gravimetry contribute to geoid determination ?**. J. Geophys. Res., 101(B8), 17,873-17,881.
- Taylor, R.L. (2012). **Gravity for the Redefinition of the American Vertical Datum**, sunu, http://www.ngs.noaa.gov/web/science_edu/presentations_library/files/mississippi_surveyors_grav-d_modified.ppt (09.01.2012).
- Timmen, L., (2010). **Absolute and Relative Gravimetry**. Gouchang Xu (Ed.): Sciences of Geodesy-I, Monograph, Springer Verlag, pp. 1-48. DOI 10.1007/978-3-642-11741-1_1.
- Tscherning, C.C. (2001). **Geoid determination after the first satellite gravity missions**. Proceedings of Wolfgang Torge, Hannover, Nr. 241, pp. 11-24.
- Yıldız, H., Fırat O., Simav M., Ünver Y. (2006). **The High Resolution Geoid Model for Turkey, TG-07**. 1 st International Symposium of the International Gravity Field Service (IGFS), Gravity Field of the Earth, Program & Abstract Book, Sayfa :18, 28 Ağustos-01 Eylül 2006.

- Yıldız, H., Simav, M., Cingöz, A. (2005). **TG-99A Jeoidinin “GPS/Mareograf-ODS” Jeoidleri Kullanılarak Test Edilmesi.** TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı, Trabzon, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları, Sayfa :292, 22-24 Eylül 2005, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yıldız, H., Simav, M. (2005). **Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi-1999 (TG-99A)’un Mutlak ve Görelî Olarak Test Edilmesi.** TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı, Trabzon, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları, Sayfa :290, 22-24 Eylül 2005, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yıldız, H., Demir C., Gürdal, M. A., Akabalı O. A., Demirkol E.Ö., Ayhan M.E., Türkoğlu Y. (2003). **Antalya-II (Bodrum-II Erdek ve Menteş Mareograf İstasyonlarına ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi.** Harita Dergisi, Özel Sayı:17, 75 sayfa.
- Wang, Y. M. , Saleh J., Li, X., Roman, · D. R. (2011). **The US Gravimetric Geoid of 2009 (USGG2009) : model development and evaluation. Journal of Geodesy.** DOI 10.1007/s00190-011-0506-7.
- NGS (2011a). **Height Modernization.** [http://www.ngs.noaa.gov/heightmod/\(11.04.2011\)](http://www.ngs.noaa.gov/heightmod/(11.04.2011))
- NGS (2011b). **GRAV-D.** [http://www.ngs.noaa.gov/GRAV-D/\(11.04.2011\)](http://www.ngs.noaa.gov/GRAV-D/(11.04.2011)).
- NGS (2012). **The Geoid Slope Validation Survey of 2011.** <http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/GSVS11/index.shtml> (09.01.2012).