

**Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (GGOS) ve Yer Gravite Alanı :**  
**Türkiye Açısından Bir İnceleme**  
(Global Geodetic Observation System (GGOS) and Earth's Gravity Field :  
An investigation concerning Turkey)

**Ali KILIÇOĞLU**  
Harita Genel Komutanlığı, Ankara  
ali.kilicoglu@hgk.mil.tr

**ÖZET**

Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG)'nin ilk küresel projesi olan Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (GGOS)'nin temel amacı tüm jeodezik ölçme tekniklerinin birleştirilmesidir. Türkiye için GGOS değerlendirildiğinde; mevcut ve olası jeodezik ölçme tekniklerinin gözden geçirilmesi ve küresel ölçü ve modellere yerel/bölgesel katkılar göz önünde tutulmalıdır. Bu kapsamda yerel/bölgesel gözlem ve analizler ile küresel modellerin kontrol ve test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; GGOS'un doğal ana unsurlarından birisi olan yer gravite alanı ile ilgili Türkiye'de yapılan ölçme ve modelleme yöntemleri ile bölgesel katkılarla küresel modellerin geliştirilmesi veya kullanılabilmesine yönelik çalışmalar derlenmiştir. Yer gravite alanı ile ilgili olarak Türkiye'de yersel gravite, uydu gravite, uydu altimetresi, yükseklik sistemleri, jeoid belirleme ve jeodinamik konularında yaygın çalışmalar yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** GGOS, gravite, yükseklik sistemleri, jeoid, jeodinamik.

**ABSTRACT**

The main objective of the Global Geodetic Observing System (GGOS), the first global project of International Association of Geodesy (IAG), is the combination of all geodetic observing techniques. In the evaluation of GGOS for Turkey, one should consider the existing and possible observation techniques and local/regional contributions to global measurements and models. Within this context global models need to be checked and tested by local/regional observations and analysis. In this study; I tried to compile the studies related to geodetic works maintained in Turkey on developing global models with regional contributions, observation and modelling techniques related to Earth's gravity field, which is the natural element of GGOS. In Turkey, within the Earth's gravity field works related to terrestrial gravity, satellite gravity, satellite altimetry, height systems, geoid determination and geodynamics have been widely applied.

**Key Words:** GGOS, gravity, height systems, geoid, geodynamics.

**1. GİRİŞ**

Yer gravite alanı Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (Global Geodetic Observing System – GGOS)'nin doğal ana unsurlarından biridir. GGOS, Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy - IAG)'nin ilk küresel projesidir. GGOS ile küresel bir referans sistemi oluşturulması, yer sistem dinamiklerinin öğrenilmesi, buzul küre (cryosphere), su küre, atmosfer ve okyanuslar arasındaki karmaşık ilişkilerin belirlenmesi için tüm jeodezik gözlem (ölçme) tekniklerinin (Şekil 1) olası en yüksek duyarlıkla ( $\sim 10^{-9}$  oransal duyarlık) birleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Ortak bir küresel düşey referans sistemini de içeren küresel bir jeodezik referans sistemi için en önemli gereksinimlerden birisi jeoid yoluyla durağan yer gravite alanının belirlenmiş olmasıdır. Benzer şekilde, gravite alanındaki zamana bağlı değişimlerin izlenmesi, yer dinamiklerinin gözlenmesi ve modellenmesinde doğrudan etkilidir. Gravite alanındaki değişimler fiziksel yeryüzündeki nokta konum değişiklikleri ile de ilişkilendirilebilecek yer içindeki kitle değişimlerinin belirlenmesinde de yardımcı olmaktadır. Bu şekilde gravite alanındaki değişimler ile tamamen geometrik hareketler ilişkilendirilmektedir. Bunlara ilave olarak yer altı suyu, denizler vb. jeofizik akışkanlardaki değişiklikler bir gravite sinyali oluşturur ve özellikle okyanus akıntıları hakkında anlamlı bilgiler üretmeye yardımcı olur (Forsberg vd, 2005, Kenyon ve Forsberg, 2008).

Gravitenin uzun dalga boylu parçası günümüzde yüksek duyarlıkla belirlenebilmektedir. Gravite alanının uzun dalga boylu parçasını ifade eden ve potansiyel alanında ölçülen değerlerden yararlı hesaplanan yer gravite potansiyeli klasik olarak küresel harmonikler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$V(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{a} \left[ 1 + \sum_{n=2}^N \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \right] \quad (1)$$

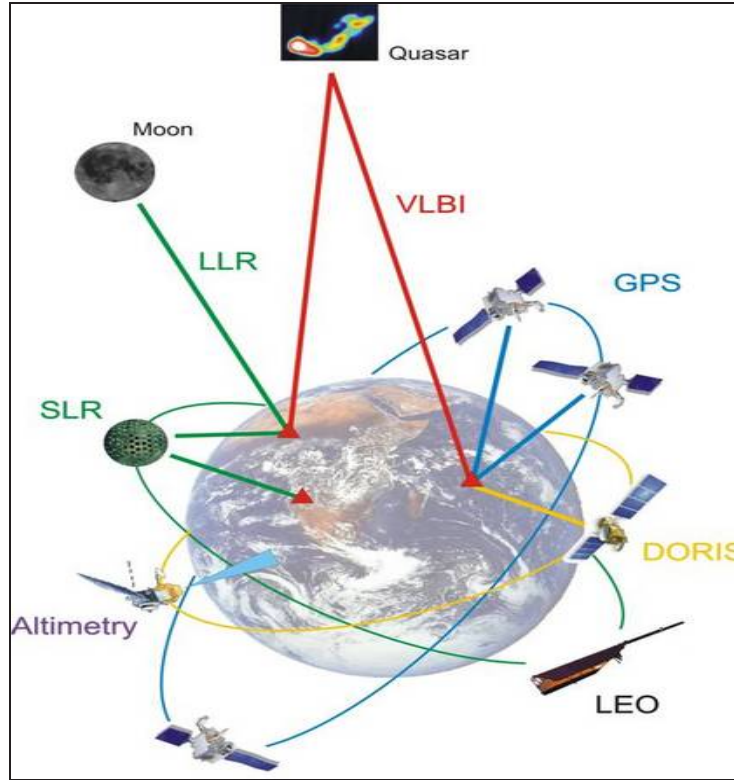
Burada;

$G$  : Newton çekim sabiti

$M$  : Yerin toplam kitlesi

$a$  : Elipsoidin büyük yarı eksen

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$  : Küresel harmonik katsayılarıdır.



Şekil 1. Uydu jeodezisi gözlem teknikleri. (<http://www.ggos.org>).

Türkiye'de özellikle GPS, Uydu Altimetresi, LEO (CHAMP, GRACE) ve SLR ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Şekil 1).

GGOS'un temel amacı olan tüm jeodezik ölçme tekniklerinin birleştirilmesi çalışması iki temel unsurdan oluşmaktadır; küresel gözlem, model ve analizler ile yerel/bölgesel gözlem ve analizler ile küresel modellerin kontrol ve test edilmesi. Yerel katkılar ile küresel gözlemler birleştirilerek GGOS'un hedeflerine ulaşılabilir.

Bu çalışmada; GGOS kapsamında gravite alanıyla ilişkili olarak gerçekleştirilen küresel gözlemler, modeller, hesap teknikleri ve sonuç ürünler ile yerel/ulusal anlamda bunlara yapılabilecek kişisel/kurumsal katkılar ile bunların

uygulanması ve elde edilecek faydalar incelenmekte ve gerekli görülen yerlerde açıklanan konularda yapılan güncel çalışmalarla ilgili kaynaklar da belirtilmektedir.

## 2. GRAVİTE GÖZLEMLERİ

Gravite ölçme (Gravimetri) teknikleri genel olarak bağıl, mutlak ve süper iletken olmak üzere üç ana kısma incelenebilir.

Gravite ölçme tekniklerindeki gelişmelerle birlikte; tekrarlı gözlemlerle yılda  $\sim 3$  mm'lik yükseklik değişimlerini izleyecek şekilde  $10^{-8} \text{ m/s}^2$  ( $\sim 1 \mu\text{Gal}$ ) duyarlıkla gravite ölçmeleri olanaklı hale gelmiştir.

Türkiye’de süper iletken gravite gözlemleri yapılmamakta ancak dünyada değişik amaçlarla uygulanmaktadır (Ochi vd, 2000; Crossley vd, 1999). Bu yöntem ile  $10^{-12}$  duyarlığında gravite ölçülmekte ve gravite alanındaki kısa dönemli değişimler belirlenmektedir. Bu kapsamda Küresel Jeodinamik Projesi (Global Geodynamics Project – GGP) ([www.eas.slu.edu/GGP/ggphome.html](http://www.eas.slu.edu/GGP/ggphome.html)) ile bir ölçü istasyonları ağı oluşturulmuştur (Forsberg vd, 2005; Crossley vd, 1995 ; 1999).

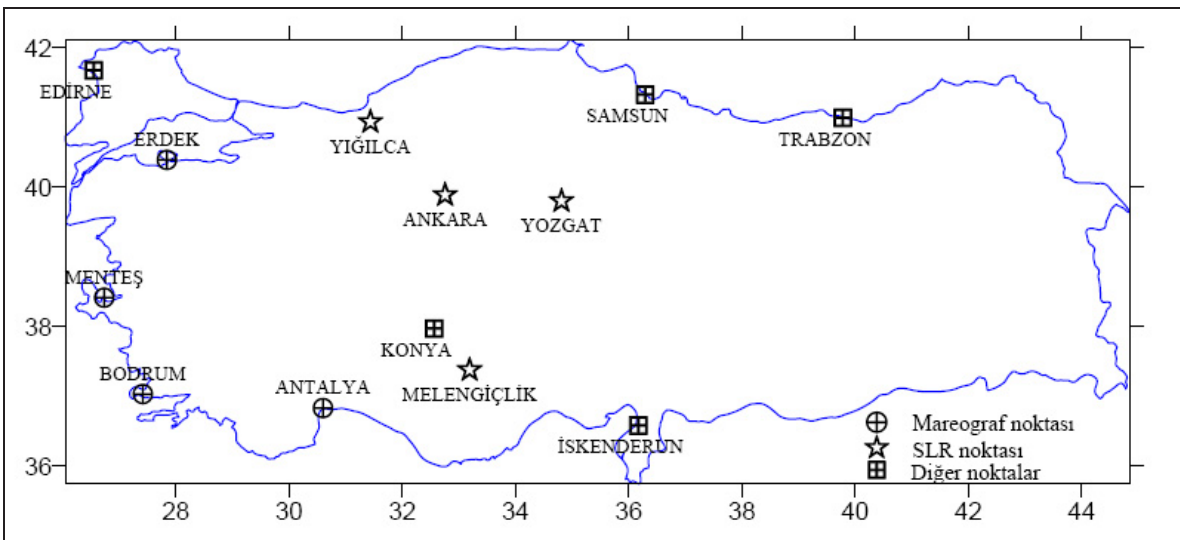
Mutlak gravite ölçüleri dünyada özellikle son yıllarda yoğun şekilde uygulanan bir yöntem olarak göze çarpmaktadır (Wziontek vd, 2008). Mutlak gravite yöntemi ile  $10^{-8} \text{ m/s}^2$  ( $\sim 1 \mu\text{Gal}$ ) duyarlık elde edilebilmektedir. Düzenli tekrarlanan mutlak gravite ölçüleri ile düşey yerkabuğu hareketleri ve gravite alanındaki zamana bağlı değişimler belirlenebilmektedir (Carter ve Peter, 1989; Lambert vd, 2001; Timmen vd, 2006). Dünyada çeşitli mutlak gravite ölçerler bulunmaktadır ve bunların ölçü standartlarının sağlanması ve bağıl ölçü doğruluklarının belirlenmesi amacıyla birbirleriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla 1981 yılından günümüze dek düzenli aralıklarla Uluslararası Mutlak Gravite Ölçerlerin Karşılaştırılması kampanyaları düzenlenmektedir. Örneğin, yerbilimleri tarihinde ilk kez dünyadan 14 mutlak gravite ölçer tamamen bu amaçla inşa edilmiş özel bir laboratuvarında eş zamanlı ölçü yapmak için toplanmıştır (Francis vd, 2003).

Türkiye’de ilk mutlak gravite ölçüsü Almanya Ulusal Kartoğrafya ve Jeodezi Kurumu (BKG) ile

Harita Genel Komutanlığı tarafından 1996 yılında gerçekleştirilmiştir (Wilmes vd, 1997a, 1997b). Türkiye’de Şekil-2’de verilen 13 noktada gerçekleştirilen mutlak gravite ölçüleri Türkiye Temel Gravite Ağı–1999 (TTGA99)’un oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu noktalarda tekrarlı mutlak gravite ölçülerinin gerçekleştirilmesi gravite alanındaki zamana bağlı değişimler ve düşey yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Bağıl gravite ölçme tekniği Türkiye’de 1920’li yıllardan bu yana jeodezik, jeofizik ve jeolojik amaçlarla yoğun bir şekilde Harita Genel Komutanlığı (HGK), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından uygulanmaktadır. Bu kurumlara ilave olarak değişik kamu kurumu ve üniversiteler tarafından da uygulamalar yapılmıştır.

Türkiye Temel Gravite Ağı – 1999 (TTGA99); Ayhan vd.(1992, 1993, 1995a, 1995b, 1998), Demir vd.(2005), Torun (1997) ile verilen bir seri çalışmanın sonucunda mutlak gravite ve bağıl gravite ölçüleriyle oluşturulmuştur (Demir vd,2006). TTGA99’un oluşturulması kapsamında aynı zamanda Ankara-Konya mutlak gravite noktaları arasında bir gravite kalibrasyon bazı oluşturulmuştur. Türkiye’de jeodezik, jeofizik ve jeolojik amaçlarla değişik kuruluşlar tarafından yapılan bağıl gravite ölçmeleri TTGA99’a bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. TTGA99 nokta gravite değerleri, ilgili mevzuat kapsamında Harita Genel Komutanlığından temin edilebilmektedir.



Şekil 2. Türkiye’de ölçülen mutlak gravite noktaları.

HGK ile BKG tarafından FG5 (101) mutlak gravite ölçer ile 13 noktada ölçüm yapılmıştır (Şekil 2). Mutlak gravite ölçüleri 6 Ağustos - 4 Ekim 1996 tarihleri arasında yapılmış olup nokta yerlerinin seçiminde uygulanan ölçütler ve seçim çalışmaları, mutlak gravite ölçü ve değerlendirilmesi konuları ayrıntılı olarak (Wilmes vd, 1997a; Wilmes vd, 1997b)'de verilmektedir. Mutlak gravite ölçülerinin dengelenmesi sonucunda elde edilen nokta gravite standart sapmaları; İskenderun noktasında 16.5  $\mu\text{Gal}$ , diğer noktalarda ise 1.1  $\mu\text{Gal}$  ile 7.7  $\mu\text{Gal}$  arasında değişmektedir.

HGK, MTA ve TPAO tarafından gerçekleştirilen bağıl gravite ölçmeleriyle elde edilen gravite değerleri HGK tarafından birleştirilerek jeoid belirleme çalışmalarında kullanılmaktadır (Ayhan, 1993; Kılıçoğlu, 2002; Kılıçoğlu ve Fırat, 2003; Kılıçoğlu vd, 2004). Bu gravite ölçülerinin büyük bir kısmı, ölçülerin yapıldığı toplam süreyi kapsayacak şekilde durağan (statik) gravite alanının belirlenmesinde kullanılabilir düzeydedir. Bununla birlikte günümüzde özel amaçlarla yapılan ölçüler tekrarlanarak zamana bağıl gravite değişimi ile düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Yılmaz, 1994; Ergintav vd, 2005, 2007; Doğan vd, 2006, 2007; TÜBİTAK, 2009).

Günümüze dek yapılan gravite ölçüleri jeoid belirleme, yer kabuk yapısının incelenmesi (Aydın vd, 2005; Kılıçoğlu vd, 2008; Pamukçu vd, 2003, 2007; Pamukçu ve Yurdakul, 2006, 2008; Pamukçu ve Akçığ, 2005; Akçığ vd, 2007; Özyalın vd, 2003) yanında küresel gravite modellerinin test edilmesinde de kullanılmıştır (Kılıçoğlu vd, 2009a). Günümüzde bağıl gravite, GPS, geometrik nivelman ve mutlak gravite ölçüleri birlikte kullanılarak jeodinamik çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Tiwarei vd, 2006; Timofeev vd, 2008; Arnet vd, 1997; Weise vd, 2008; Meyer vd, 2008; Tirel vd, 2004; Nerem vd, 2008; Chinn vd, 2008; Appleby vd, 2008; Chery vd, 2008).

### 3. GRAVİTE ALANI UYDU GÖREVLERİ

Özellikle gravite alanı ile ilişkili olarak fırlatılan uyduların (CHAMP, 2001 yılı; GRACE, 2002 yılı; GOCE, 2009 yılı) devreye girmesiyle küresel gravite alanı ve zamana bağıl değişimleri daha önce erişilememiş doğrulukla (dalga boyuna bağıl olarak  $10^{-2}$  veya  $10^{-10}$  oransal doğruluk) belirlenmektedir.

Bu uydulardan CHAMP ve GOCE durağan gravite alanının belirlenmesine yönelik ve GRACE ise bunun yanında zamana bağıl değişimleri de incelemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu uydularla ilgili ayrıntılı bilgi internet sayfalarında;

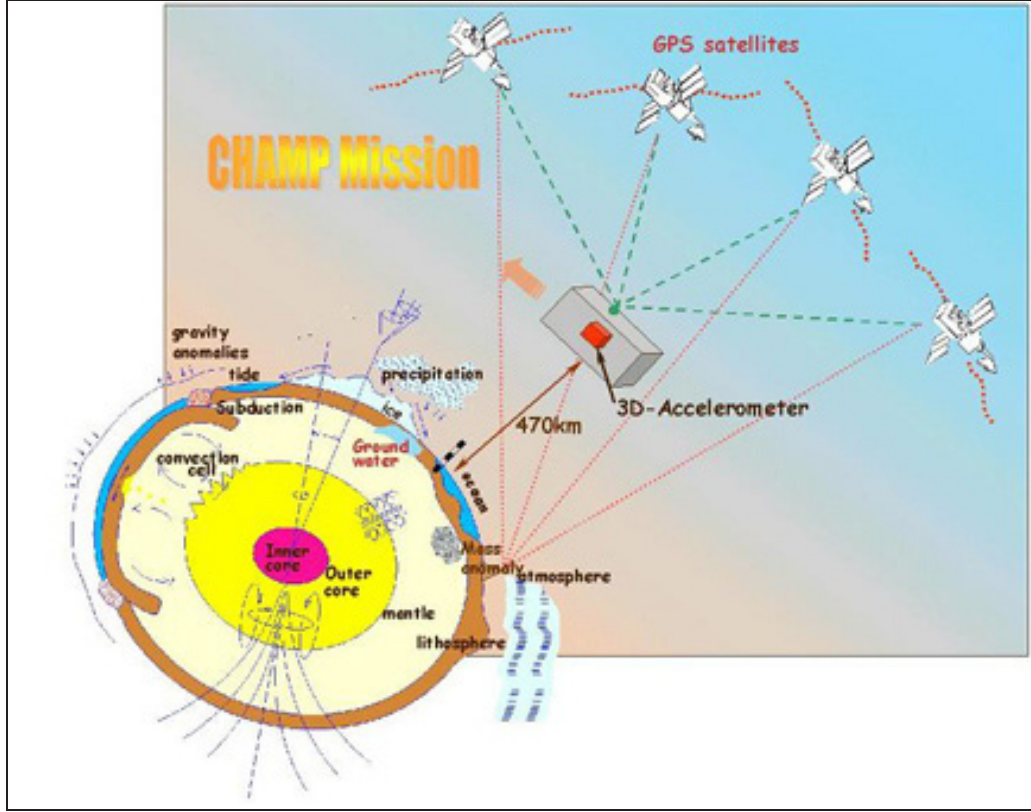
CHAMP: [gfz.potsdam.de](http://gfz.potsdam.de),

GRACE : [csr.utexas.edu/grace](http://csr.utexas.edu/grace),

GOCE: [esa.int/esaLP/LPgoce.html](http://esa.int/esaLP/LPgoce.html)

ve (Karslıoğlu, 2005; Üstün, 2006)'da bulunmakla birlikte kısa açıklamalar sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir.

CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) uydusu, Almanya Yer Araştırmaları Merkezi (GFZ) tarafından yer bilimleri ve atmosferle ilgili araştırma ve uygulamalar yapmak amacıyla fırlatılan bir uydu görevidir. CHAMP 2002 yılında yörüngesine yerleştirildikten sonra günümüze dek ölçmelerine devam etmiş ve yerin gravite ve manyetik alanına ilişkin yüksek duyarlılıkları bilgiler elde edilmiştir. CHAMP uydu görevi ile yer potansiyel araştırmalarında yeni bir dönem açılmıştır. CHAMP ile toplanan ölçülerle yer potansiyel modelleri oluşturulmakta ve yayınlanmaktadır (Reigber vd, 2004).

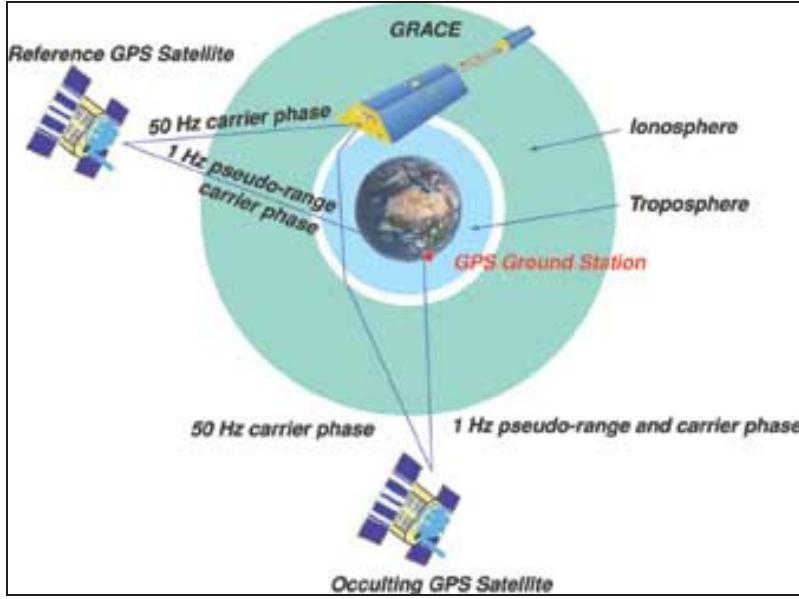


Şekil 3: CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) uydusu.

GRACE (Şekil 4); 2002 yılında yörüngesine yerleştirilerek ABD (NASA) ve Almanya (DLR) tarafından ortaklaşa yürütülen bir uydu görevi olmakla birlikte araştırma ve uygulama çalışmaları Texas Üniversitesi Uzay Araştırmaları Merkezi (UTCSR) ve Almanya Yer Araştırmaları Merkezi (GFZ) tarafından gerçekleştirilmektedir. GRACE birbirini takip eden ikiz uydulardan oluşmaktadır. GRACE uydu misyonunun 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 alanı zamana bağlı olarak yeniden hesaplanmakta ve böylece gravite alanındaki zamana bağlı değişimleri izlemek olanaklı olmaktadır. Uydu görevinin ikincil amacı ise elde edilen GPS okültasyon ölçüleri ile atmosferik araştırmalar

gerçekleştirmektir (Şekil 4). GRACE uydu görevinin temel ürünü diğer ölçülerle birleştirilmiş yer gravite modelleridir. Bunlardan en son 360'uncü derece ve sıraya kadar hesaplanan EIGEN-5C; GRACE, LAGEOS, yersel gravite ve uydu alitmetre ölçülerinin bir kombinasyonudur (Foerste vd, 2008)

Şekil 4'de okültasyon işleminin nasıl gerçekleştiği gösterilmektedir. GRACE uydusu yükselen bir GPS uydusunu izlemekte ve kaybolan GPS uydusundan gelen sinyaller atmosferde kırılarak GRACE uydusuna ulaşmaktadır, bu sırada diğer bir GPS uydusu ise referans olarak kullanılmaktadır. <http://www.csr.utexas.edu/grace/publications/brochure/pa>.



Şekil 4. GRACE uydusu.

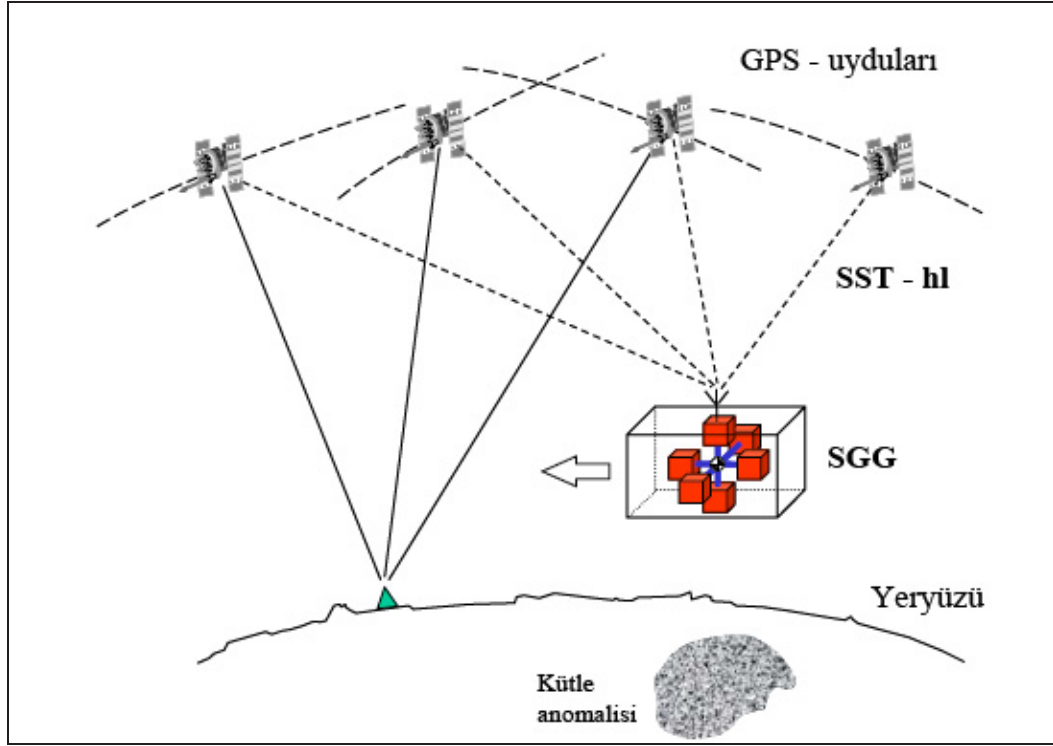
Gravite uydularından elde edilen sonuçlara bağlı olarak GGOS'un önündeki olası yeni çalışmalar arasında uzay ajanslarını elde edilen verileri zamanında yayımlaması için etkilemek, referans sistemlerinin gerçekleştirilmesinde uygulanmak üzere standartlar ve jeofizik düzeltmeler önermek, gravite alanının uzun dönemli izlenmesini sağlamak için yeni gravite uyduları görevleri önermek ve tasarlamak sayılmaktadır (Forsberg vd, 2005).

Uydu gravite görevlerinden elde edilen sonuç ürünleri genellikle küresel harmonik katsayılarıdır. Bunlar kullanılarak ve yersel ölçülerle de birleştirilerek uydu görevlerine özel "yer gravite modelleri" üretilmektedir. Bunlardan CHAMP modelleri (Reigber vd, 2004) durağan gravite alanını vermekte, GRACE ise durağan modellerin yanı sıra 10 günlük aralıklarla veri sağlayarak 2002 – 2009 arasında 7 yıllık gravite değişimlerini de izlemeyi sağlamaktadır (Foerste vd, 2008).

Türkiye'de kurumsal ve kişisel anlamda, özellikle GRACE tarafından sağlanan 10 günlük yer gravite alanına ilişkin küresel harmonik katsayılar kullanılarak gravite alanı, jeoid ve yerin içindeki kitle değişimleri izlenebilmektedir (Yıldız vd, 2008b, 2009; Han vd, 2005; Ramillien vd, 2004). Bu çalışmalara yer gravite alanındaki değişimlere katkıları da göz önünde tutularak jeodezi, atmosfer bilimi, okyanus bilimi, hidroloji,

jeofizik, jeoloji gibi bilim dallarının katılımı gereklidir.

GOCE (Gravity Field and steady-state Ocean Circulation Explorer) uydusu (Şekil 5), misyonu Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın Yer Keşif Programı kapsamında başlattığı bir projedir. GOCE uydusu 2002 yılında fırlatılmıştır. GOCE uydusunun ana ölçme cihazı her eksenin iki ucunda yüksek duyarlıklı ivme ölçerler olan 3 eksenli gravite gradyometresidir. Bu diferansiyel ölçmeler ile gravite potansiyelinin 2'nci türevleri elde edilmektedir. Uydu yaklaşık 2 yıl süre ile hizmet verecektir. Bu süre sonunda yüksek çözünürlüklü ve duyarlıklı yer potansiyel modeli ve buna bağlı olarak yüksek doğruluklu jeoid modeli elde edilecektir. Projenin ana amaçları; fiziksel yeryüzünde yaklaşık 100 km.lik çözünürlük sağlayacak şekilde gravite anomalilerini 1 mGal ve jeoidi 1-2 cm doğrulukla belirlemek olarak sayılabilir. Sayılan amaçların gerçekleşmesiyle; dünya ölçeğinde harita üretimi, jeodezik çalışmalar ve deniz seviyesinin izlenmesi için kullanılacak yükseklik referans sisteminin (Dünya Yükseklik Sistemi) oluşturulması, yerkabuğunun iç yapısının ve tektonik olayların derinlemesine öğrenilmesi, okyanus akıntıları ve ısı transferinin daha iyi anlaşılması, kutuplardaki buzul kütlelerinin kalınlıklarının ve hareketlerinin daha iyi izlenmesi olanaklı hale gelecektir. (ESA, 1999; Karslıoğlu, 2005)



Şekil 5. GOCE (Gravity Field and steady-state Ocean Circulation Explorer) uydusu.

#### 4. YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ VE JEOİD

Ortalama yer yarıçapı düşünülürken  $10^{-9}$  (milyarda bir – ppb) oransal doğruluk yaklaşık olarak 6 mm'ye karşılık gelmektedir. Özellikle uzun dalga boyunda cm doğruluğunda jeoid uydu gravite görevleriyle elde edilebilecektir (GRACE ile 50'nci derece ve sıra için 2-3 mm, 120'nci derece ve sıra için ~10cm (Tapley vd, 2004), GOCE ile 200'üncü derece ve sıra için 1 cm (ESA, 1999) oransal doğruluk).

Uydu ölçülerinden hesaplanan jeoid küresel harmonik katsayılar ile ifade edilmekte ve belirli bir dalga boyuna kadar hesaplanmaktadır. Ancak, daha kısa dalga boyundaki yerel jeoid değişimleri oldukça yüksektir ve gravite alanının yerel özelliklerine göre 20-50 cm arasında değişmektedir. Kısa dalga boylu etkileri çözmek için yersel veya havadan gravite ölçüleri ile uydu altimetre ölçüleri kullanılmalıdır. Ancak yersel gravite ölçüleri ne kadar sık olursa olsun kısa dalga boyunda 1 mm doğrulukla jeoid elde etmek hemen hemen olanaksız gibidir. Yerel jeoid modelleme yöntemleri halen tam değildir, yersel ve havadan gravite ölçüleri az da olsa bir fark yaratmaktadır, ayrıca özellikle dağlık alanlarda kullanılan sayısal arazi modellerindeki sistematik etkiler jeoidin kısa dalga boyunda hatalar meydana getirmektedir. Uygulamada gerçekçi

jeoid belirleme hedefi 1-3 cm hatta 5-10 cm doğruluklu jeoid olmalıdır.

Küresel, düşünsel (teorik) ve kılğısal (pratik) olarak iyi tanımlanmış mm –daha gerçekçi olarak birkaç cm– doğruluğunda bir jeoid GGOS'un temel anahtar unsurudur. Böyle bir jeoid, okyanusların uydu altimetresi ile izlenmesi, dünya için düşey datumu oluşturması, temel GGOS ölçü istasyon yüksekliklerinin aynı yükseklik sisteminde tanımlanması ve deniz düzey ölçer (mareograf) istasyonlarında küresel deniz seviyesinin izlenmesine yardımcı olacaktır. GGOS tarafından hedeflenen jeoid durağan değildir, yerkabuğundaki düşey hareketler gibi jeodinamik etkiler ve yer içinde ve okyanuslardaki kitle değişimleri gibi nedenlerle oluşan zamana bağlı değişim de izlenmelidir.

Küresel ölçekte kullanılacak bir jeoid jeoidin asıl tanımıyla doğrudan ilişkilidir. Klasik jeoid karalarda topoğrafyanın içinde tanımlanır ve böylece yoğunluk dağılımı varsayımlarına dayanmaktadır. Özellikle uzay jeodezisi uygulamalarında topoğrafik kitlelerin yoğunluk dağılımıyla ilgili varsayımlar potansiyel hata kaynağı haline gelir. Bu nedenle Molodensky tarafından önerilen yükseklik anomalisi (veya quasi-jeoid) veya tüm topoğrafik kitleleri aynı

yoğunluklu kabul eden Helmert jeoidi uygulanmalıdır.

Özetle, mm doğruluklu jeoidin belirlenebilmesi için GGOS'un görevleri aşağıdaki gibi sayılabilir(Forsberg vd, 2005).

- Hesaplamalar ve düzeltmeler için standartlar önermek,

- Küresel referans koordinat çerçevesi içinde jeoid hesabını uyumlu hale getirmek için uydu ve yersel gravite ölçülerini en uygun şekilde birleştirerek Uluslararası Gravite Alanı Servisi (IGFS) tarafından ve uydu görevleri tarafından sağlanan veri ve ürünlerin kullanılmasını sağlamak,

- Konum belirleme, nivelman ve deniz seviyesinin gözlenmesi için GGOS ölçü noktalarında jeoidi hesaplamak,

- Önemli GGOS ölçü istasyonları ve gözlem evlerinde yetersiz ölçüleri tamamlamak ve dünyanın yersel gravite ölçüsü eksik ve dağınık bölgelerinde yersel ve havadan gravite ölçülmesini teşvik etmek ve önerilerde bulunmak.

GGOS kapsamında küresel jeoidin (veya quasi-jeoid) belirlenmesi ve buna ilave olarak yerel jeoidlerin belirlenmesi, dünya için tanımlanacak düşey datum problemini bir anlamda çözmekte ve dünya yükseklik sistemini oluşturmaktadır. Bu aşamada hesaplanan jeoid modellerinin halen kullanımda olan yerel yükseklik sistemleriyle diğer bir deyişle GPS/nivelman jeoid yükseklikleriyle karşılaştırma ve uyum problemi açığa çıkmaktadır. Ulusal/yerel düşey kontrol (nivelman) ağları genellikle 1930'lu yıllardan itibaren ölçülmeye başlamış ve son dengelemeleri ise tüm ölçülerin ortalamasını alacak şekilde zamandan bağımsız olarak yapılmıştır. Bu nedenle düşey kontrol ağları ölçülmeye başladığı zaman ve kullanımda olduğu zaman arasındaki tüm düşey bozulmaları

içermektedir. GPS ölçüleri ise ITRF içerisinde tutarlı ve zaman boyutu göz önünde tutularak yapılmıştır. Hesaplanan gravimetrik jeoidin GPS/nivelman jeoidiyle birleştirilerek kolay ve doğrudan kullanımı için "düzeltici yüzey" olarak isimlendirilen ve gerçekte jeoidden farklı bir yüzey elde edilmesi durumunda düşey kontrol ağlarında mevcut tektonik ve diğer bozulmaların söğürülmesi ve jeoid yüzeyinin zorlanması durumu ortaya çıkmaktadır. Düşünsel olarak uygun olmayan bu işlem kılıgusal amaçlarla uygulanmak durumunda kalmakta ve kullanıcılara GPS ölçülerinde Ortometrik yükseklik hesaplanabilmesi için bir düzeltici yüzey sağlanması zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumdan ancak ulusal düşey datumların GGOS tarafından belirlenecek küresel jeoidle bağlı bir düşey datumla değiştirilmesi ve yeni yükseklik sisteminin seçilerek jeoidin düşey datum olarak kullanılması ve bu jeoidin zamana bağlı değişimlerinin izlenmesi ile kurtulmak olanaklı hale gelmektedir.

Türkiye'de çeşitli kurumlarca yapılan tüm gravite ölçüleri HGK tarafından kullanılarak gravimetrik jeoid hesaplamaları yürütülmekte ve kullanıcılara sunulmaktadır (Ayhan, 1993; Ayhan vd, 2002; Kılıçoğlu, 2002; Kılıçoğlu vd, 2005, 2009b). Uygulamacılar ise özellikle ilave yerel GPS/nivelman ölçüleri yardımıyla mevcut yönetmeliğe de uyarak HGK tarafından sağlanan düzeltici yüzeyi kontrol etmekte ve gerekirse yerel güncelleştirerek kullanmaktadır.

## 5. UYDU ALTİMETRESİ VE GRAVİTE ALANI

Yaklaşık son yirmi yıldır yer gözlem amacıyla fırlatılan uydulara radar altimetrelere de yüklenmekte (Şekil 6) ve okyanuslarda deniz yüzü yüksekliği yer merkezli ve yere bağlı bir koordinat çerçevesinde belirlenmektedir.





Şekil 6. Uyduların genel görünüşü (www.aviso.oceanobs.com).

Bu amaçla 1985 yılında GEOSAT uydusunun atılmasıyla başlayan uydular altimetre çalışmaları sırasıyla ERS-1, Topex/Poseidon, GFO, Spot, ERS-2, Jason-1, Envisat ve 2008 yılında JASON-2 uydusuyla devam etmektedir. Yakın gelecekte Cryosat, Saral, HY-2, Sentinel-3, Jason-3 ve Swot uydularının da atılması planlanmıştır.

Uydular altimetre tekniğinde kabul edilen elipsoidten anlık deniz yüzeyine kadar olan uzaklık (anlık deniz yüzeyinin elipsoid yüksekliği), diğer bir deyişle deniz yüzü yüksekliği (DYY) (sea surface height – SSH) ölçülmektedir. Tam tekrarlı uydular yörüngeleri sayesinde ERS ve ENVISAT uydularında 10 günde, TOPEX/POSEIDON ve JASON uydularında 35 günde bir aynı noktanın üzerinde (~1-2 km) ölçümler toplanmakta ve bir zaman serisi oluşmaktadır. Böylece deniz seviyesindeki bağıl değişim de izlenebilmektedir (Nerem vd, 2008; Unnikrishnan, 2008; White vd, 2008; Calafat vd, 2008; Yıldız vd, 2008a, 2008b; Prandi ve Cazenave, 2008).

Uydular altimetresi ile ölçülen deniz yüzü yüksekliği jeoidden yakın bir yüzey oluşturur ve jeoidden dinamik deniz yüzü topoğrafyası kadar farklıdır. Uzun yıllardır toplanan ortalama deniz yüzü yüksekliklerinden yararlanarak denizlerde gravite anomalileri belirlenmekte, jeoid yükseklikleri hesaplanabilmekte ve deniz yüzü yüksekliği anomalileri belirlenebilmektedir (Sandwell, 1990;

Smith ve Sandwell, 1997; Andersen vd, 2008). Uydular altimetre ölçümleri dünyada birçok kurum tarafından toplanmakta, değerlendirilmekte ve kullanıcılara sunulmaktadır. Bunların arasında AVISO (<http://www.aviso.oceanobs.com>) ve RADS (<http://www.deos.tudelft.nl/altim/rads>) sayılabilir. Son dönemde DGFI tarafından IAG bünyesinde Uluslararası Altimetre Servisi (IAS) kurulmuştur (<http://ias.dgfi.badw.de>). IAS bünyesinde oluşturulan veri tabanı sayesinde tüm kullanıcılar mevcut altimetre ölçümleri ve ürünlerine ulaşabilmektedir (Bosch, 2008).

Türkiye çevre denizlerinde uydular altimetre ölçümleri kullanılarak gravite anomalileri, jeoid yükseklikleri, deniz yüzü yüksekliği anomalileri, deniz yüzü topoğrafyası, akıntılar v.b. büyüklükler belirlenebilir (Kılıçoğlu, 2005a, 2005b; Kılıçoğlu vd, 2007, Fırat, 2009).

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde uydular altimetre tekniğinin üniversiteler ve araştırma/uygulama kurumları ile destekleyici kuruluşlar tarafından benimsenmesi ve desteklenmesi gereklidir. Böylece çevre denizlerde jeodezik, jeofizik, jeolojik ve okyanus bilimi ile ilgili çalışmalara destek sağlanabilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG)'nin ilk küresel projesi olan Küresel Jeodezik Gözlem Sistemi (Global Geodetic Observing System – GGOS) ve bunun doğal ana unsuru olan Yer Gravite Alanı ile ilgili çalışmalar Türkiye boyutunda ve koşullarında yapılanlarla birlikte kısaca incelenmiş ve bazı tesbitler yapılarak ileriye yönelik önerilerde bulunmak amaçlanmıştır.

GGOS'un temel amaçları arasında küresel bir referans sistemi oluşturmak, yer sistem dinamiklerini öğrenmek, buzul küre, su küre, atmosfer ve okyanuslar arasındaki karmaşık ilişkilerin belirlenmesi için tüm jeodezik gözlem (ölçme) tekniklerinin olası en yüksek oransal duyarlılıkla ( $\sim 10^{-9}$ ) birleştirmek sayılmaktadır.

Küresel ölçekte yapılan gözlem ve modellerle ilgili sonuçların, özellikle yerel veya bölgesel ölçmeler ve analizlerle kontrol ve test edilmesi, küresel modellerin doğrulanması ve uygulamada güvenilir olarak kullanılması açısından yarar sağlamaktadır. Türkiye'deki çalışmalar yersel gravite, uydu gravite, yükseklik sistemleri ve uydu altimetresi ana başlıkları altında incelenmiş ve Türkiye'de gravite alanı konusundaki çalışmalarını destekleyecek ve GGOS'a katkı sağlayacak öneriler aşağıda verilmiştir.

### a. Türkiye'de yersel gravite çalışmaları ile ilgili olarak;

(1) Mevcut mutlak gravite noktalarında tekrar ölçülerinin yapılması ve mutlak gravite ölçü nokta sayısının artırılması,

(2) Seçilen TTGA99 noktalarında ölçülerin tekrarlanması, gravite datumunun kontrol edilmesi ve izlenmesi,

(3) Jeodezik, jeofizik ve jeolojik amaçlarla yapılan bölgesel bağıl gravite ölçmelerinin TTGA'ya bağlanması ve datum birliğinin sağlanması,

(4) Yersel gravite ölçmelerinin zor olduğu bölgelerde (dağ, bataklık, göl v.b.) havadan gravite ölçmelerinin yapılması,

(5) Gravite alanındaki zamana bağlı değişimlerin izlenmesi ve modellenmesi,

(6) Gravite alanı ile jeodinamik ve tektonik konularının birlikte işlenmesi,

### b. Uydu gravite konusu ile ilgili olarak;

(1) Uydu gravite misyonlarından elde edilen ölçü ve sonuçların bölgesel gravite alanı modellemesinde kullanılması,

(2) Gravite alanındaki zamana bağlı değişimlerin izlenmesi ve modellenmesi,

(3) Jeoid belirleme çalışmalarında kullanılması,

(4) Jeodinamik amaçlı çalışmalarda kullanılması,

(5) Elde edilen küresel modellerin bölgesel ölçü ve modellerle karşılaştırılması,

### c. Yükseklik sistemleri ve jeoidi konusu ile ilgili olarak;

(1) GPS/nivelman jeoid yüksekliklerini kullanarak bölgesel yer potansiyeli araştırmalarının yapılması,

(2) Çevre denizlerde düşey datum ve gelgit datumlarının belirlenmesi,

(3) Jeoid bağıl bir düşey datum tanımlanması,

(4) Mareograf ölçülerinden elde edilen ortalama deniz seviyesi ve düşey datum ilişkilerinin araştırılması,

(5) Mevcut jeoidi belirleme teori ve tekniklerinin incelenmesi,

(6) Uydu görevlerinden elde edilen ölçü ve sonuçların bölgesel jeoid belirlemede kullanılması,

(7) Jeoidin zamana bağlı değişiminin izlenmesi,

(8) Jeoid ve jeodinamik çalışmalarının birlikte işlenmesi,

### ç. Uydu altimetresi konusunda;

(1) Çevre denizlerde uydu altimetre ölçülerinin toplanması, ulaşılabilir bir veri tabanının oluşturulması,

(2) Çevre denizlerdeki uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesi ve analizi,

(3) Mareograf, uydu altimetresi ve GPS ölçülerini bir arada kullanarak deniz seviyesindeki değişimlerin izlenmesi,

(4) Uydu altimetre ölçülerinin kıyılarda kullanılması konusunda araştırmaların yapılması,

(5) Deniz yüzü yüksekliği ve deniz yüzü topoğrafyasının belirlenmesi,

(6) Uluslararası Altimetre Servisine aktif katılımın sağlanması,

(7) Uydu altimetre ölçülerinden deniz derinlik bilgisinin hesaplanması,

(8) Deniz yüzü yüksekliklerinden gravite anomalilerinin ve deniz jeoidinin hesaplanması,

(9) Uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesi, modellenmesi ve analizi konusunda kurs düzenlenmesi önerilmektedir.

Türkiye’de yukarıda sayılan çalışmaların gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla ulusal ve uluslararası destekleyici kuruluşlara bireysel, kurumsal ve ortak projeler önerilmeli ve alınacak desteklerle üniversite, araştırma ve uygulama kurumlarında personel yetiştirilmesi sağlanmalıdır.

Gravite alanı ile ilgili olarak genel ve seçilecek özel konularda kurslar düzenlenmeli ve üniversitelerde dersler açılmalıdır.

IAG kapsamında GGOS ile ilgili bilimsel faaliyetlere katılım, projelerde aktif görev alınması ile bireysel ve kurumsal bağlantı ve işbirliği sağlanmalıdır.

Türkiye’de yerbilimleri alanında kullanılan ölçme, değerlendirme ve modelleme teknikleri çok disiplinli projeler altında birleştirilerek kullanılmalı ve GGOS kapsamında yer gravite alanı konusundaki çalışmalara jeodezi bilim dalı öncülük etmelidir.

## KAYNAKLAR

Andersen, O.B., P. Knudsen, P. Berry & S. Kenyon 2008, **The DNSC08 ocean wide-altimetry derived gravity anomaly field**. EGU 2008 Meeting, Vienna.

Akçığ Z., Pamukçu A.O., Akgün M. ve Yurdakul A. , 2007, **Genç kıta-kıta çarpışma bölgesi Doğu Türkiye’ye ait gravite ve manyetik çalışmalar Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 10. Toplantısı 2–4 Kasım, İzmir, Türkiye, Bildiri Özleri Kitabı s. 38.**

Appleby, G.M., V Smith, M Wilkinson, M Ziebart, S D Willams, 2008, **Height signals determined from SLR, absolute gravity and GPS observations at the Space Geodesy Facility**, Herstmonceux, UK. AGU Fall Meeting 2008.

Arnet, F., Kahle, H.-G., Klingele, E. and R. Smith, Meertens, C. and Dzurisin ,1997, **Crustal deformation of the Yellowstone volcanic field inferred from temporal gravity changes and supplementary leveling and GPS data**. Geophysical Research Letters, 24, No. 22: 2741-2744.

Aydın, A., H.Kargı, F.Altınöğlü, N.Sarı, 2005, **İç ege Tektoniğinin mevcut veri ve çalışmalarla irdelenmesi**. Deprem Sempozyumu, Kocaeli üniversitesi, 23-25 Mart 2005.

Ayhan, M.E., Demir C., Çağlar Y. 1998, **Türkiye Ulusal Gravite Ağının İyileştirilmesi Projesi**, İç Rapor No: JEOF 98-2, HGK Jeodezi Dairesi, Ankara, ss. 25.

Ayhan, M.E., Demir, C., Alas, B., 1992, **Türkiye Temel Gravite Ağı 1956 (TTGA-56)’nın Yeniden Dengelenmesi**, Harita Dergisi, sayı 108, s. 43-58.

Ayhan, M.E., 1993, **Geoid Determination in Turkey (TG91)**, *Bulletin Geodesique*, 67: 10-22.

Ayhan, M.E., Demir, C., Torun, A., 1993, **Türkiye Ulusal Gravite Ağının İyileştirilmesi Projesi İç Rapor No: JEOF 93-2**, HGK Jeodezi Dairesi, Ankara, ss. 28.

Ayhan, M.E., A.Kılıçoğlu, 1993, **Türkiye Doppler Jeoidi** (TDJ,. Prof.Dr.H.Wolf Jeodezi Sempozyumu Bildiri Kitabı. S:409-435.

Ayhan, M.E., Demir, C., Torun, A., 1995a, **IGSN-71 noktaları ile TTGA-56 Ankara Noktası Arasında Yapılan Gravite Bağlantı Ölçülerinin Dengelenmesi. İç Rapor No: JEOF 95-5**, HGK Jeodezi Dairesi, Ankara, ss. 24.

Ayhan, M.E., Demir, C., Torun, A., 1995b, **Yeni Ulusal Birinci Derece Gravite Ağının Tanıtılması**, TUJJB Bilimsel Kongresi, 2-5 Mayıs, Ankara, s. 268-279.

- Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B. Aktuğ, M. Açıkgöz, O. Fırat, Y.S. Şengün, A. Cingöz, M.A. Gürdal, A.İ. Kurt, M. Ocak, A. Türkezer, H. Yıldız, N. Bayazıt, M. Ata, Y. Çağlar, A. Özerkan, 2002, **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999A (TUTGA-99A)**, *Harita Dergisi*, Özel Sayı 16.
- Bosch, W., 2008, **Towards the International Altimeter Service (IAS), a core element of GGOS**. American Geophysical Union Fall Meeting, 15-19 December, San Fransisco.
- Calafat, F.M.; Gomis, D.; Marcos, M.; Pascual, A.; Ruiz, S., 2008, **Recovery of sea level fields of the last decades from altimetry and tide gauge data. General Assembly European Geosciences Union**, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Carter, V.E.; Peter, G., 1989, **Absolute Gravity Measurements: Global Sea Level Change OCEANS** apos; 89. Proceedings Volume 1, Issue , pp.225 – 227.
- Chery, J, T Jacob, R Bayer, N Le Moigne, J Boy, 2008, 4D Absolute Gravity, **Surface to Depth Gravity and Microgravity Measurements: Application to Groundwater Monitoring in a Karst System in the Larzac Plateau (France)**. AGU Fall Meeting 2008.
- Chinn, D.S., K Le Bail, F G Lemoine, J W Beall, S B Luthcke, D D Rowlands, 2008, **Time-varying gravity comparison of the GSFC solutions derived from DORIS, SLR and GRACE**. AGU Fall Meeting 2008.
- Crossley D., Hinderer J., Casula G., Francis O., Hsu H.-T., Imanishi Y., Jentzsch G., Kaarianen J., Merriam J., Meurers B., Neumeyer J., Richter B., Shibuya K., Sato T., and van Dam, T., 1999, **Network of superconducting gravimeters benefits several disciplines**, EOS, 80, pp 121-126.
- Crossley, D. J. and Hinderer, J., 1995, **GP, The Global Geodynamics Project - Status Report 1994**, Conseil de l' Europe : Cahiers du Center Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Proceedings of the Workshop : Non Tidal Gravity Changes Intercomparison between absolute and superconducting gravimeters, 11, 244-274.
- Demir, C, Kılıçoğlu, A., Fırat, O., 2005, **Türkiye Temel Gravite Ağı 1999 (TTGA-99)**, İç Rapor No: JEOF-2005-2, HGK Jeodezi Dairesi, Ankara.
- Demir, C, Kılıçoğlu, A., Fırat, O., 2006, **Temel Gravite Ağı 1999 (TTGA99)**. *Harita Dergisi*, Sayı 136,
- Doğan, U., H. Demirel, C. Aydın, S. Ergintav, R. Çakmak, A. Belgen, C. Gerstenecker, 2006, **GPS and Gravity Measurements Along the Western Part of the North Anatolian Fault and Their Relation to Crustal Deformations**. *Harita Dergisi*, Özel Sayı 18, Proceedings of IGFS First International symposium. pp.429-435.
- Doğan, U., Ergintav, S., Gerstenecker, C., Roedelsperger, S., 2007, : **Interpretation of postseismic GPS and gravity changes**. EGU General Assembly, April 15-20, 2007, Viyana.
- Ergintav, S., U. Dogan, C. Gerstenecker, H. Demirel, R. Cakmak, C. Aydın, A. Belgen, C. Tiede, C. Erenoglu, 2005, **Monitoring of recent crustal movements in the Marmara Region, Turkey, using GPS and gravity observation**, EGU-General Assembly, 24-29 April, Vienna, Austria.
- Ergintav, S.; Doğan, U.; Gerstenecker, C.; Çakmak, R.; Belgen, A.; Demirel, H.; Aydın, C.; Reilinger, R., 2007, **A snapshot (2003 2005, of the 3D postseismic deformation for the 1999, Mw = 7.4 İzmit earthquake in the Marmara Region, Turkey, by first results of joint gravity and GPS monitoring**. *Journal of Geodynamics*, Volume 44, Issue 1-2, p. 1-18.
- ESA, 1999, : **Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer Reports for Assessment**, ESA SP-1233 (1), ESTEC, Noordwijk.
- Fırat, O., 2009, : **Uydu altimetre ölçülerinden jeoidi belirleme**. *Doktora Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Devam ediyor).
- Foerste, C.; Flechtner, F.; Schmidt, R.; Stubenvoll, R.; Rothacher, M.; Kusche, J.; Neumayer, K.-H.; Biancale, R.; Lemoine, J.-M.; Barthelmes, F.; Bruinsma, J.; Koenig, R.; Meyer, U., 2008, **EIGEN-GL05C - A new global combined high-resolution GRACE-based gravity field model of the GFZ-GRGS cooperation**, General Assembly European Geosciences Union (Vienna, Austria 2008,, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, Abstract No. EGU2008-A-06944.

- Forsberg, R., M.G.Sideris, C.K.Shum, 2005, **The gravity field and GGOS**. *Journal of Geodynamics*. Vol.40, pp. 387-393.
- Han, S., C. Shum, C. Jekeli and D. Alsdorf, 2005, **GRACE Recovery of Regional Water Mass Variations with High Resolution**. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 10304, 2005
- Karslıoğlu, M.O., 2005, **Uydu Gradyometresi ve GOCE Uyudusu**. *Harita Dergisi*, 135, s.26-41.
- Kenyon, S., R Forsberg, 2008, **The Global Geodetic Observing System and the Gravity Field**, American Geophysical Union Fall Meeting, 15-19 December, San Fransisco.
- Kılıçoğlu, A., 2002, **Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi -1999 (TG-99A)**. *TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı*, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı, s:153-167. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İznik.
- Kılıçoğlu, A., O.Fırat, 2003, **Büyük ölçekli harita üretiminde GPS ile Ortometrik yükseklik belirlemeye yönelik jeoid modelleme ve uygulamalar**. *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı*, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı, s: 27-35. Selçuk Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, Konya
- Kılıçoğlu, A., O.Fırat, C.Demir, 2004, **The new gravimetric geoid model for Turkey (TG03)**, IAG International Symposium, Gravity, Geoid and Space Missions. Book of Abstracts, Porto, Portugal.
- Kılıçoğlu, A., 2005a, **Gravity anomaly map over the Black Sea using corrected sea surface heights from ERS1, ERS2 and TOPEX/POSEIDON satellite altimetry missions**. *Stud.Geophys.Geod.*, 49, pp:1-12.
- Kılıçoğlu, A., 2005b, **Jason-1 Uydu Altimetre ölçülerinin değerlendirilmesi ve Karadeniz'de uygulamalar**. *TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı*, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon.
- Kılıçoğlu, A., O. Fırat, C. Demir, 2005, **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., Şanlı,U., Demir, C., Yıldız, H., Cingöz, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., 2007, **Marmara Denizindeki Deniz Yüzeyi Yükseklik Değişimlerinin Ers-1, Ers-2 Ve TopexPoseidon Uydu Altimetre Ölçüleriyle Araştırılması**, *Harita Dergisi*, sayı 138, sayfa 22-28.
- Kılıçoğlu, A., O.Lenk, A.Direnç, M.Simav, H.Yıldız, B.Aktuğ, H.Bağcı, H.Okay, C.Göçmen, A.Çınar, A.Erkol, E.Paslı, M.Akçakaya, Y.Er, Ş.Köklü, 2008, **Türkiye İzostatik Gravite Anomali Haritası**, ATAG 12 MTA, Akçakoca.
- Kılıçoğlu, A., A. Direnç, M. Simav, O. Lenk, B. Aktuğ, H. Yıldız, 2009a, **Evaluation of EGM08 in Turkey**. *Newton's Bulletin* (Yayın aşamasında).
- Kılıçoğlu, A., H.Yıldız, A. Direnç, O. Lenk, H. Bağcı, M. Simav, 2009b, **BHİKPK 1'inci Sempozyumu**, 26-27 Şubat 2009, ODTÜ, Ankara.
- Lambert, A.; Courtier, N.; Dragert, H.; James, T. S.; Schmidt, M.; Wang, K.; He, J., 2001, **Absolute Gravity Measurements in the Cascadia Subduction Zone**. American Geophysical Union, Fall Meeting
- Meyer, U.; Götze, H. J.; Sungchan, C. ; Heyde, I., 2008, **Recent helicopter gravimetry over the Dead Sea Basin**. EGU 2008 Meeting, Vienna.
- Nerem, R. S.; Chambers, D. P.; Mitchum, G. T.; Willis, J., 2008, **What Have We Learned About Sea Level Change from Satellite Gravity and Altimeter Measurements?** EGU 2008 Meeting, Vienna.
- Ochi Y.; Fujita K.; Niki I.; Nishimura H.; Izumi N.; Sunahara A.; Naruo S.; Kawamura T.; Fukao M.; Shiraga H.; Takabe H.; Mima K.; Nakai S.; Uschmann I.; Butzbach R.; Forster E.; Courtier N.; Ducarme B.; Goodkind J.; Hinderer J.; Imanishi Y.; Seama N.; Sun H.; Merriam J.; Bengert B.; Smylie D.E. Source, 2000, **Global superconducting gravimeter observations and the search for the translational modes of the inner core**. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Volume 117, Number 1, pp. 3-20(18)

- Francis, O., T. van Dam, M. Amalvict, M.A. Sousa, M. Bilker, R. Billson, G. D'Agostino, S. Desogus, R. Falk, A. Germak, O. Gitlein, D. Jonhson, F. Klopping, J. Kostelecky, B. Luck, J. Mäkinen, D. McLaughlin, E. Nunez, C. Origlia, V. Palinkas, P. Richard, E. Rodriguez, D. Ruess, D. Schmerge, S. Thies, L. Timmen, M. Van Camp, D. van Westrum and H. Wilmes, 2004, **Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters in Walferdange (Luxembourg) of November 2003. International Association of Geodesy Symposia**, Gravity, Geoid and Space Mission GGSM 2004 IAG International Symposium Porto, Portugal August 30 – September 3, 2004.
- Özyalın, Ş., O. Pamukçu, Z. Akçığ ve H. Sözbilir, 2003, **Batı Anadolu Grabenlerinin Gravite Verileri ile Araştırılması**, Türkiye 15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, 20-24 Ekim, İzmir, Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı s. 65.
- Pamukçu, O., Z. Akçığ, Ş. Özyalın ve Ş. Demirbaş, 2003, **Doğu Anadolu Bölgesi'ne Ait Gravite Verilerinin Değerlendirilmesiyle İlgili İlk Sonuçlar**, Türkiye 15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, 20-24. Ekim, İzmir, Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı s. 70-71.
- Pamukçu, O. and Z. Akçığ, 2005, **Isostasy of Eastern Anatolia, International Earth Sciences Colloquium on The Aegean Region (IESCA)**, İzmir, Turkey, Abstracts 260.
- Pamukçu, O. ve A. Yurdakul, 2006, **İzostazi, litosferik bükülme ve efektif elastik kalınlık**, Aktif Tektonik Araştırma Grubu (ATAG) 10. Toplantısı 2-4 Kasım, İzmir, Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı s.111-113
- Pamukçu, O.A., Akçığ, Z., Demirbaş Ş. and Zor, E., 2007, **Investigation of crustal thickness in eastern Anatolia using gravity, magnetic and topographic data**, Pure Applied Geophysics, 164, 2345-2358, 0033-4553/07/112345-14, DOI 10.1007/s00024-007-0267-7, 2007.
- Pamukçu, O. and Yurdakul A., 2008, **Isostatic compensation in the Western Anatolia with estimate of the effective elastic thickness**, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), 17, 545-557, 2008
- Prandi, P., A Cazenave, 2008, **Is coastal mean sea level at tide gauges sites identical to the global mean based on satellite altimetry? A comparison over 1993-2007**. American Geophysical Union Fall Meeting, 15-19 December, San Fransisco.
- Ramillien, A. Cazenave, Ch. Reigber, R. Schmidt and P. Schwintzer, 2004, **Recovery of global time-variations of surface water mass by GRACE geoid inversion**. International Association of Geodesy Symposia. Gravity, Geoid and Space Missions. GGSM 2004 IAG International Symposium Porto, Portugal August 30 – September 3, 2004 Eds. Christopher Jekeli, Luisa Bastos and Joana Fernandes
- Reigber, Ch., Jochmann, H., Wunsch, J., Petrovic, S., Schwintzer, P., Barthelmes, F., Neumayer, K.-H., König, R., Förste, Ch., Balmino, G., Biancale, R., Lemoine, J.-M., Loyer, S., Perosanz, F., 2004, **Earth Gravity Field and Seasonal Variability from CHAMP**. In: Reigber, Ch., Lühr, H., Schwintzer, P., Wickert, J., eds.), **Earth Observation with CHAMP - Results from Three Years in Orbit**, Springer, Berlin, pp. 25-30.
- Sandwell, D. T., 1990, **Geophysical Applications of Satellite Altimetry, Reviews of Geophysics Supplement**, pp. 132-137.
- Smith, W.H. and D.T. Sandwell, 1997, **Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings**, Science Magazine, vol. 277, issue 5334.
- Tapley, B., Bettadpur, S., Ries, J., Thompson, P., Watkins, M., 2004, **GRACE measurements of mass variability in the earth system**. Science 305, (July), 503-505
- Timmen T., Olga Gitlein; Jürgen Müller; Heiner Denker; Jaakko Mäkinen; Mirjam Bilker; Bjørn Ragnvald Pettersen; Dagny I. Lysaker; Ove Christian Dahl Omang; J. G. G. Svendsen; Herbert Wilmes; Reinhard Falk; Andreas Reinhold; W. Hoppe; Hans-Georg Scherneck; Bjørn Engen; Bjørn Geirr Harsson; Andreas Engfeldt; Mikael Lilje; Gabriel Strykowski; René Forsberg, 2006, **Observing Fennoscandian Gravity Change by Absolute Gravimetry**, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 131, Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles, p. 193-199

- Timofeev, V.Y., D.G.Ardukov, E.A.Zapreeva, E.Calais, A.D.Duckhov, G.P.Arnautov, E.N.Kalish, Y.F.Stus, M.G.Smirnov, E.Visotskiy, S.A.Kazantsev, Timofeev, A.V, 2008) : **Altay GPS and Gravity Networks for Geodynamics Studies. Proceedings of the APSG Workshop 2008, "Space Geodynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes"**. 22-26 September, 2008, Novosibirsk, Russia, pp.128-134.
- Tirel, C., Gueydan, F., Tiberi, C. and Brun, J.P., 2004, **Aegean crustal thickness inferred from gravity inversion. Geodynamical implications.** Earth and Planetary Science Letters, 228, 267 -280.
- Tiwari, V.M., B. Singh, M. B. S. Vyaghreswara Rao and D. C. Mishra, 2006, **Absolute gravity measurements in India and Antarctica,** CURRENT SCIENCE, VOL. 91, NO. 5, pp. 686-689.
- Torun A., 1997, **Türkiye Ulusal Gravite Ağının İyileştirilmesi Projesi İç Rapor,** İş Teslim Raporu. HGK Jeodezi Dairesi, Ankara.
- TÜBİTAK, 2009, **Marmara Bölgesinde Düşey yer kabuğu Hareketlerinin Mutlak Gravite ve GPS Ölçüleri ile Araştırılması.** TÜBİTAK Araştırma Projesi Nu. 101Y152, (Yürütücü U.Doğan).
- Unnikrishnan, A.S., 2008, **Estimation of sea-level-rise trends in the north Indian Ocean coasts from tide gauge records and satellite altimetry.** General Assembly European Geosciences Union, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Üstün, A., C.Demir, A.Kılıçoğlu, H.Demirel, 2002, **Determination of a geometrical geoid profile between the mediterranean and the Black Sea by GPS-Leveling.** Third meeting of the International Gravity and Geoid Commission "Gravity and Geoid". Pp:183-189.
- Üstün, A., 2006, **Gravite alanı belirleme amaçlı uydu misyonları: CHAMP, GRACE, GOCE ve ilk sonuçlar.** Harita Dergisi, (136,16-30.
- Weise, A.; Kroner, C.; Abe, M.; Ihde, J.; Jentzsch, G.; Neumeyer, J.; Rothacher, M.; Wilmes, H.; Wziontek, H., 2008, **Ground truth for satellite-derived gravity variations from superconducting and absolute gravimeters.** EGU 2008 Meeting, Vienna.
- White, N; Church, J; Gregory, J; Domingues, C., 2008, **Extracting optimum value from the PSMSL sea-level data: Combining tide gauge and satellite altimeter data.** General Assembly European Geosciences Union, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Wilmes, H., Falk, R., Lothhammer, A., Kressman, A., Lang, O., Kılıçoğlu, A., 1997a, **Final Report of the Absolute Gravity Campaign 1996 in Turkey.** (Yayımlanmadı).
- Wilmes, H., Falk, R., Lothhammer, A., Kressman, A., Lang, O., Kılıçoğlu, A., 1997b, **Absolute Gravity Campaign in Turkey 1996 – First Results.** Proceedings of the Second Turkish-German Joint Geodetic Days (Eds. O.Altan, L.Grundig). 27-29 May, Berlin, s. 51-58.
- Wziontek, H.; Wilmes, H.; Ihde, J.; Bonvalot, S., 2008, **An international database for absolute gravity measurements - a continued activity of BKG and BGI.** American Geophysical Union Fall Meeting, 15-19 December, San Fransisco.
- Yıldız, H.; Simav, M.; Sezen, E.; Cingöz, A.; Kılıçoğlu, A., 2008a, **Sea level trends along the western coasts of anatolia from tide gauge, satellite altimetry, gps and levelling data.** General Assembly European Geosciences Union, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Yıldız, H.; Andersen, O.B.; Kilicoglu, A.; Simav, M.; Lenk, O., 2008b, **Sea level variations in the Black Sea for 1993-2007 period from GRACE, altimetry and tide gauge data.** General Assembly European Geosciences Union, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10.
- Yıldız, H., O.Andersen, A.Kılıçoğlu, M.Simav, O. Lenk, 2009, **Black Sea annual and inter-annual water mass variations from space.** Journal of Geodesy (değerlendirmede).
- Yılmaz, O., 1994, **Precise Gravity Observation in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone ” Multidisciplinary Research on Fault Activity in the Western Part of the North Anatolian Fault Zone”.** Isikara, A.M., Honkura,Y. (Ed.), pp. 15-21, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.