

Ankara-Yozgat Hattında Mühendislik ve CBS Amaçlı Yaklaşık- Jeoit Hesabı

Muzaffer KAHVECİ^{1*}, Ekrem TUŞAT¹, Ferruh YILDIZ¹, Fatih SARI², Fariz MİKAILSOY³

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(mkahveci/etusat/fyildiz@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-5380-7164;
ORCID ID 0000-0003-4130-3764; ORCID ID 0000-0003-1248-8923

² Selçuk Üniversitesi, Çumra Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Çumra, Konya
(fatih.sari@selcuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4717-2382

³ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Iğdır, Konya
(fariz.m@igdir.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4543-5393

Öz

Global Konum Belirleme Sistemlerinin (GNSS) çok yüksek doğruluklar sağlamaya başlamasıyla birlikte, uygulamada kısa sürede yüksek doğruluklu jeoit yüksekliklerinin elde edilmesi gereksinimi de önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, mühendislik uygulamalarında ve CBS çalışmalarında ortometrik yükseklikler kullanıldığı için yerel jeoit belirleme çalışmaları daha da önem kazanmıştır.

Bilindiği gibi Türkiye tektonik olarak aktif bir bölgede olup, farklı zamanlarda meydana gelen depremler ülke nivelman ağındaki noktaların düşey konumlarında deformasyonlara/değişimlere neden olmaktadır. Diğer taraftan Ülke Temel Jeodezik Ağlarının kurulması ve yaşatılmasından sorumlu olan Harita Genel Müdürlüğü (HGM; eski adıyla Harita Genel Komutanlığı), 1999 yılından bu yana GNSS ölçülerinden yararlanarak farklı yıllarda güncel Türkiye Jeoidi modelleri hesaplayarak, kullanıcıların hizmetine sunmaktadır. HGM tarafından bu güne kadar hesaplanmış olan jeoit modellerinin dış doğrulukların genel olarak 10 cm'den daha iyi olmadığı değerlendirilmektedir. Oysa kullanıcıların ihtiyacı olan bu doğrulukların 10 cm'den daha iyi olması arzu edilen bir durumdur. Söz konusu doğruluklara ulaşıp ulaşılamayacağını araştırılması için Selçuk Üniversitesi olanakları ile pilot bir uygulama yapılması hedeflenmiş ve bu amaçla sadece İç Anadolu'nun belirli bir kesimini kapsayacak yerel gravimetrik jeoit ve geometrik yaklaşımla yaklaşık(quasi)-jeoit hesaplanması için Konya Selçuk Üniversitesi kaynakları kullanılarak bir bilimsel araştırma projesi başlatılmıştır.

Söz konusu proje bölgesine ilişkin mevcut GNSS ve nivelman verilerine ilaveten gravite verileri arazide ölçülmüş ve mutlak gravite değerleri, TG-03 kestirim değerleri gibi bazı diğer veriler de HGM'den temin edilmiştir. Yerel quasi-jeoit hesabında Karlsruhe Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilmiş ve proje kapsamında temin edilmiş olan DFHRS (Sonlu Elemanlı Yükseklik Referans Sistemi) yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım sürekli polinomsal yükseklik referans sistemi ve GNSS ile elde edilen elipsoidal yüksekliklere dayalı olarak jeoit yüksekliklerinin $N(\varphi, \lambda, h)$ parametrik modellenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yazılım ile yapılan hesaplama sonucunda 10 cm'den daha iyi doğruluklu yerel quasi-jeoit elde edilmesi sağlanmıştır. Aynı noktadaki GPS/Nivelman jeoidi, DFHRS hesap ve TG-03 kestirim değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Netice olarak, bu makalede proje kapsamında sadece geometrik yaklaşımla hesaplanmış olan quasi-jeoit modeline ilişkin yapılmış olan çalışmalar ile ulaşılmış olan ara sonuçlar sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Gravimetrik jeoit, yaklaşık (quasi) jeoit, elipsoit yüksekliği, ortometrik yükseklik

* Sorumlu Yazar

Computation of A Local Quasi-Geoid Along Ankara-Yozgat Line for Engineering and GIS Purposes

Abstract

Requirement for a high resolution geoid model has increased substantially during the last few decades especially with the advent of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). As an example, when orthometric heights are used in engineering and GIS applications local quasi-geoid determination studies have become especially important.

As it is well known, Turkey is situated on a tectonically very active region and earthquakes occurring in different times cause deformations in heights of levelling points of Turkish National Vertical Network. On the other hand, National Mapping Agency of Turkey (GDM: General Directorate of Mapping, formerly GCM) which is responsible for the establishment and maintenance of national geodetic networks compute geoid models for whole Turkey and release them for public use in different periods. And it is known that the absolute accuracies of these geoid models are nearly at the 10 cm level or even worse. But, the requested accuracy is about better than 10 cm. Hence, in order to prove that the required accuracy levels can be achieved, A local gravimetric and quasi-geoid determination project using the resources of Konya Selçuk University was initiated. Project area has been planned to cover a limited part of Central Anatolia, namely, Ankara-Yozgat line.

Necessary gravity data for this Project have been obtained in the field by performing observations/measurements in addition to the existing GNSS and leveling data. Some other necessary data such as absolute gravity and TG-03 geoid prediction values have been obtained from GDM. For the computation of local quasi-geoid using geometric approach DFHRS software developed by the Karlsruhe Applied Sciences was used. The principle of the DFHRS software is based on the parametric model of $N(\varphi, \lambda, h)$ as a continuous polynomial height reference surface (HRS). Following the quasi-geoid computation it has been shown that a local quasi-geoid model was achieved better than 10 cm along the project area. GPS/Levelling geoid, TG-03 prediction values and DFHRS results were compared with each other for the same points. Consequently, in this paper, all works carried out within the framework of this project and the preliminary results related to quasi-geoid model computation using geometric approach are presented.

Keywords: *GNSS, Gravimetric geoid, quasi geoid, ellipsoidal height, orthometric height*

1. GİRİŞ

Günümüzde cm doğruluğunda bölgesel veya yerel jeoit belirleme fiziksel jeodezinin uygulamaya yönelik ana uğraşı alanı olmuştur. Bunun nedeni ise günümüzde GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ile ulaşılan ölçüm ve hesap doğruluklarıdır. 1980'li yıllardan itibaren GPS'in sivil araştırmalara ve kullanıma açılmasıyla geleneksel jeodezik ölçümlerin yerini GPS (Global Positioning System) ölçümleri almıştır. Zaman içerisinde konum belirleme uydu sistemlerindeki yenilik ve gelişmeler ile uydu sistemi sahibi ülkelerin sayısının artmasıyla GPS yerine GNSS tanımı kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde GNSS uygulamalarının kullanıcılara gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu 3-boyutta koordinat ve koordinat düzeltmeleri sağlaması, haritacılık faaliyetlerini farklı bir seviyeye taşımıştır. Bu bağlamda, özellikle ülkelerin kamu kurum ve kuruluşları, haritacılık kapsamında kullanıcılarına daha doğru ve hızlı hizmet verebilmek için gerçek zamanlı aktif GNSS (CORS: Continuously Operating Reference

Stations) ağları (Ağ-RTK) kurmuşlar ve ihtiyaç duyulan haritacılık verilerini (koordinatlar, koordinat düzeltmeleri, atmosferik düzeltmeler, zaman bilgisi, datum bilgileri vb.) bu ağlar üzerinden gerçek zamanlı olarak hesaplayıp ulaştırmaya başlamışlardır. Kullanıcılara yayınlanan bu düzeltmeler ve bilgiler RTCM (Radio Technical Commission for Maritime) mesajları formatı ve içeriğinde yayınlanmaktadır (Kahveci 2018). Ülkemizde bu şekilde kurulmuş olan ulusal ağ TUSAGA-Aktif'in yanında belediyeler tarafından kurulmuş olan ve işletilen çok sayıda yerel ağlar (örn. İstanbul-İSKİ, Ankara-ASKİ, Adana-ASKİ, vb.) mevcuttur. Halen bu ağlarda yayınlanan düzeltme ve diğer ilave parametreler sınırlı sayıda olup, tüm gereksinimlere cevap verecek şekilde değildir. Örneğin, Ağ-RTK prensibi ile çalışan bu ağlarda kullanıcılara genelde ITRF (International Terrestrial Reference Frame) datumunda yatay koordinat düzeltmeleri, atmosferik düzeltmeler vb. yayınlanmaktadır. Yükseklik bilgisi düzeltmeleri ise GNSS ölçümlerinden elde edildiği haliyle, bir başka

ifadeyle elipsoidal yükseklik olarak yayınlanmaktadır.

Diğer taraftan, Ağ-RTK servislerinden yüksek doğruluklu, gerçek zamanlı ve düşük maliyetli hizmet sunulması beraberinde yükseklik bilgisi sorununu da gündeme getirmektedir. Başka bir ifadeyle, gerçek zamanlı GNSS (Ağ-RTK) hizmet sunumlarında konum belirleme sorunu yatay ve düşey konum belirleme olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Yatay konum datum dönüşümü ile yerel koordinat sistemine dönüştürülebilmektedir. Dolayısıyla, bu şekilde elde edilecek yatay koordinatlar kolayca klasik jeodezik konum belirleme teknikleri ile bütünleştirilebilmektedir. Oysa, yükseklik bileşeni için durum biraz farklıdır (Kahveci vd. 2018).

Yükseklik bilgisinin mühendislik ölçmelerinde ve jeodezideki yeri çok önemlidir ve fiziksel jeodezinin ana konularından birisini oluşturmaktadır. Bilindiği gibi, GNSS ölçü ve hesaplamaları ile ölçü noktasının elipsoit yüksekliği elde edilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2018). Oysa, mühendislik projelerinde ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) uygulamalarında ortalama deniz seviyesinden itibaren ölçülen ve hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Sonuç olarak GNSS ile belirlenmiş elipsoit yüksekliklerinin (h) uygun jeoit modeli kullanılarak ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi ve dolayısıyla söz konusu jeoit modelinin ise günümüz doğruluk ihtiyaçlarını karşılayacak seviyede belirlenmesi gerekmektedir. İşte bu gereksinim, jeodezicileri yüksek doğruluklu yerel jeoit modeli belirlemeye zorlamıştır. Dolayısıyla, Ağ-RTK prensibiyle çalışan ağların normal şartlarda navigasyon, mobil CBS/haritacılık ile mobil IT (bilgi teknolojileri) uygulamalarına da hizmet edebilecek seviyeye getirilmesi gerekmekte olup, bu ise mevcut jeodezik altyapının bu uygulamalara da gerçek zamanlı hizmet verecek şekilde (örn. Nokta jeoit modelinin/yüksekliklerinin ve/veya doğrudan ortometrik yüksekliklerin yayınlanması) kurulması ise olanaklıdır. Bunu sağlamak için de uygulamaya dönük ve fakat yüksek doğruluklu jeoit model, hesabı en önemli gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum Türkiye gibi dağlık arazisi ve jeoidin hızlı değişim gösterdiği bölgeleri olan bir ülke için daha da önemli bir durum yaratmaktadır.

Bu nedenle global gravite modellerinin Türkiye için iyileştirilmesine ihtiyaç vardır (Yılmaz vd. 2016)

Günümüzde jeoit modeli hesabı genel olarak az sayıda ve fakat çok bilinen yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemler çok genel bir sınıflama ile; kaldır-hesapla-yerine koy (RCR:Remove-Compute-Restore) yöntemi, LSMS (Least Square Modification of Stoke's) yöntemi ve geometrik (DFHRS:Digital finite-element height reference surface) yöntemi şeklinde yazılabilir (Schwarz vd 1990, Sjöberg L. E., 2003, Jaeger ve Kaelber 2006, Agren vd 2009, Yıldız vd. 2011).

Bunlardan, kaldır-hesapla-yerine koy (Schwarz et al.) yöntemi muhtemelen en çok kullanılan yöntem olup burada, global gravite modeli ile hesaplanan uzun dalga boyu ile yerel düzeltmesi (topoğrafya) ile hesaplanan kısa dalga boyu etkileri arazide ölçülmüş gravite verilerinden çıkarılır. Daha sonra hesaplanan gravite anomalileri, Stoke integrali ile quasi-jeoit yüksekliklerine dönüştürülür. Son aşamada ise, ilk başta kaldırılmış olan uzun ve kısa dalga boyu etkileri tekrar bu quasi-jeoit yüksekliklerine eklenir. LSMS yönteminde ise, gravite ölçülerine indirgee uygulamak yerine, topoğrafyadan jeoide kadar olan ilave düzeltmeler (additive corrections) getirilir (Sjöberg, 2005). DFHRS yöntemi ise jeoit modeli hesaplamalarında geometrik bir yaklaşım olup, Karlsruhe Uygulamalı Bilimler Üniversitesinde geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu makalede DFHRS yöntemi kısaca tanıtılmakta ve söz konusu araştırma projesinin ilk aşaması ile elde edilmiş olan sonuçlar tartışılmaktadır.

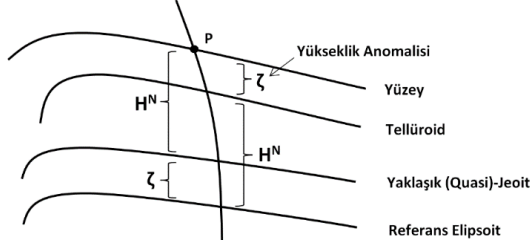
2. JEOİT VE GEOMETRİK YAKLAŞIK (QUASI)-JEOİT HESABI (DFHRS)

Uygulamada kullanılan pratik yükseklikler ortometrik yükseklikler (H) olarak isimlendirilmekte olup bunlar ortalama deniz seviyesinden olan yüksekliklerdir ve bir ülkenin düşey datumunu oluştururlar. Söz konusu Pratik yükseklikler yeryüzünde yapılan gravite ölçüleri ile belirlenirler. Diğer taraftan, eğer çok yüksek doğruluklu bir düşey datum ihtiyacımız varsa, bu durumda artık ortalama deniz seviyesi, bilimsel çalışmalarımız ve hatta ulusal datumlarımız için düşey datum olma özelliğini kaybetmektedirler. İşte bu gibi

durumlarda, çalışma bölgesine ilişkin jeoit hesabının yapılması gerekmektedir.

Bilindiği gibi jeoide bağlı olarak üç farklı yükseklik tanımlanmıştır. Bunlar; dinamik yükseklik, ortometrik yükseklik ve normal yüksekliktir. Bu yükseklik sistemlerinin her birisi gravite ölçüsü yapılan nokta ile jeoit arasındaki gravite potansiyeli farklarına dayandırılarak tanımlanmışlardır. Bu potansiyel farklara jeopotansiyel sayılar (C_p) adı verilmektedir. (Jekeli 2000). Sonuç olarak, bu üç farklı yükseklik sistemi arasındaki ilişkiler bu jeopotansiyel sayılarla kurulmaktadır. Buradan, jeopotansiyel sayıların gerçekte en doğal yükseklik sistemini oluşturmasına karşın Pratik olmadıkları için doğrudan kullanılmamaktadırlar.

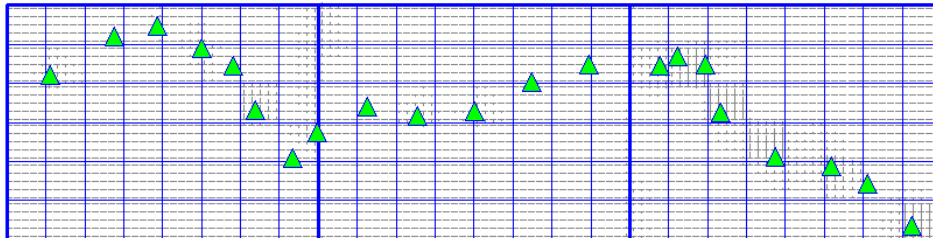
Netice olarak, bu makalenin de konusu olan ortometrik yükseklikler yeryüzündeki bir noktadan jeoide kadar, çekül eğrisi boyunca ölçülen yüksekliklerdir ve "H" ile gösterilirler. Normal yükseklikler ise çekül eğrisi boyunca yaklaşık-jeoit'den olan yüksekliği ifade etmektedir. Bu bağlamda, jeoit ile yaklaşık-jeoit ortalama kıyı şeridinde ve denizlerde çakışmaktadırlar, (Şekil-1).



Şekil 1. Normal Yükseklik (H^N) ve Yaklaşık(Quasi)-Jeoit

Şekil-1'de $H_p^N = \frac{C_p}{\gamma}$ ile hesaplanmakta olup

burada $\bar{\gamma}$, P yeryüzü noktasından geçen çekül



Şekil 2. 5km'lik grid ağ yapısında oluşturulmuş DFHRS hesaplama tasarımı (ince mavi çizgiler mesh, kalın mavi çizgiler patch, yeşil üçgenler polinom dayanak noktaları)

eğrisi boyunca olan ortalama normal gravite değerini ifade etmektedir.

DFHRS geometrik yöntemle yaklaşık-jeoit hesabı, çalışma bölgesinde referans yükseklik yüzeylerinin oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Bu prensip temel olarak, sonlu elemanlı bir grid ağı (mesh) üzerinde sürekli bir polinom yüzeyi (FEM: Finite Element Meshes) oluşturma mantığına dayanmaktadır, (Jäger,1998). P sayıdaki parametrelili bu FEM'ler referans yükseklik sisteminin (HRS) taşıyıcı fonksiyonunu oluşturmaktadırlar, (Şekil-2, ince mavi çizgiler). Sonuç olarak bu şekilde oluşturulan HRS'ye dayalı FEM yüzeyi NFEM ($p | \varphi, \lambda$) olarak isimlendirilmektedir.

GNSS Nivelmanı ile H (ortometrik) yüksekliklerinin belirlenmesi durumunda GNSS'den elde edilen h (elipsoit) yükseklikleri DFHRS'ye (φ, λ, h) parametreleri ile tanımlanmakta ve buradan N (jeoit) yükseklikleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır:

$$H = h - N = h - DFHRS(p, \Delta m | \varphi, \lambda, h) \\ = h - (NFEM(p | \varphi, \lambda) + \Delta m \cdot h)$$

Buradaki $N = DFHRS(\varphi, \lambda, h)$ yükseklikleri DFHRS veri tabanından alınmakta olup, bu veri tabanında ($p, \Delta m$) HRS parametreleri yanında Şekil-2'de örneği verilen proje alanine ilişkin grid ağ (mesh) tasarımı da bulunmaktadır. DFHRS yazılımının fonksiyonel ve stokastik modeli Tablo-1'de çok genel olarak verilmiştir.

Tablo 1. DFHRS Yazılımının Genel Matematik Modeli

Fonksiyonel Model	Stokastik Model (Kovaryans Matrisi)	Ölçü Tipi
$h + v = H + h. \Delta m + NFEM(p \mid x, y)$ $NFEM(p \mid x, y) = f(x, y).p$	$C_h = diag(\sigma_{h_i}^2)$	Elipsoit yükseklikleri
$N_G(\varphi, \lambda)^j + v = f(x, y)^T .p + \partial N_G(d^j)$	C_{NG}	Jeoit yükseklikleri
$\xi^j + v = -f_\varphi^T / (M(\varphi) + h).p + \partial \xi (d^j_{\xi, \eta})$ $\eta^j + v = -f_\lambda^T / (N(\varphi) + h). \cos(\varphi).p + \partial \eta (d^j_{\xi, \eta})$	---	Zenit kamera ile ölçülen veya herhangi bir gravite potansiyeli modelinden elde edilen çekül sapması bileşenleri (η, ξ) .
$H + v = H$	$C_H = diag(\sigma_{H_i}^2)$	Fiziksel anlamı olan ortometrik yükseklikler
$C + v = C(p)$	---	Süreklilik şartını sağlayan ve küçük varyans ile yüksek ağırlıklara sahip yakıştırma (pseudo) gözlemler.

Yazılımla hesap yapılırken, Tablo-1’de verilen gözlem eşitliklerinde yeterli sayıda dayanak noktasına ait enlem, boylam ve elipsoit yükseklik değerleri girilmektedir. Tablo-1’den de anlaşılacağı gibi, DHRS yazılımında zenit kamera ile ölçülmüş çekül sapması bileşenlerini de ölçü olarak kullanmak olanaklı olmakla birlikte çalışma bölgesine ait bu veriler olmadığı için bu çalışmada söz konusu bileşenler uygun bir global gravite modelinden (EGM2008) elde edilmişlerdir.

3. ANKARA-YOZGAT HATTINDA GEOMETRİK YÖNTEM İLE YAKLAŞIK-JEOİT HESABI

Bilindiği gibi, mühendislik projelerinde ihtiyaç duyulan jeoit yükseklikleri ya Harita Genel Müdürlüğü (HGM)’nden temin edilmekte veya proje alanında GNSS ve nivelman ölçüleri yapılarak yerel GPS-Nivelmanı yöntemi ile belirlenmektedir.

Diğer taraftan, HGM tarafından kullanıma sunulan ulusal jeoit modeli özellikle dağlık bölgelerde beklenen yüksek doğruluğu sağlayamamaktadır. Ülkemizin dağlık olması, birçok bölgede jeoidin hızlı değişim

göstermesi ve en önemlisi her bölgede yeterli sıklıkta gravite ölçüsünün bulunmaması gibi sorunlar da ülke boyutunda yüksek doğruluklu bir ulusal jeoit modeli oluşturulmasını oldukça zora sokmaktadır. Bu gibi durumlarda (10 cm’den daha iyi doğruluklu değerlere ihtiyaç duyan) akademik ve özel sektör kullanıcıları yerel jeoit hesabı ile çözüm bulmaya çalışmaktadırlar.

Yerel jeoit hesabı ile elde edilecek doğrulukları hesabı yapan kişinin deneyimi, kullandığı yöntem vb. birçok faktör olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bunun sonucunda da ülkemizde standartlara uymayan çok sayıda farklı jeoit modeli ve dolayısıyla bunlardan elde edilmiş jeoit yüksekliklerinin kullanımı söz konusu olmaktadır. Bu şekilde farklı yöntem ve kullanıcılar tarafından elde edilen bu değerlerin ulusal projelerde kullanılması ise Türkiye ulusal jeoit modeli ile uyum sorunlarının çıkmasına neden olmaktadır. Bu sorunun gerçekte en Pratik çözümü, jeoit modeli bilgilerinin RTCM mesajı olarak Ağ-RTK düzeltmeleri ile birlikte kullanıcılara ulaştırılmasıdır. Bunu yapabilmek için ise gerçek zamanlı çalışabilecek daha pratik jeoit hesabı modellerine ve yazılımlarına gereksinim bulunmaktadır. Türkiye’deki

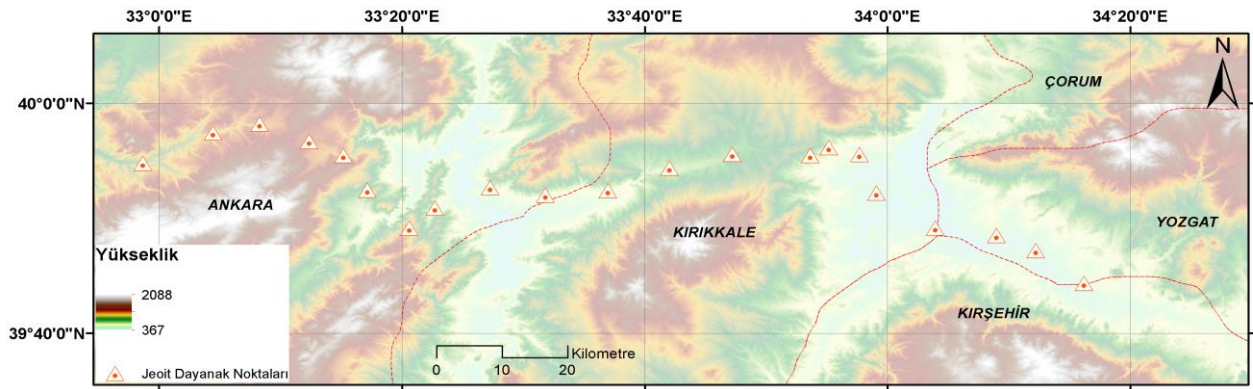
altyapının henüz buna hazır olmadığı bilinen bir gerçektir.

Yukarıda çok özet olarak değinilen bu soruna somut bir çözüm önerisi getirebilmek için Konya Selçuk Üniversitesi olanakları ile 2017 yılında yerel ölçekte bir bilimsel araştırma projesi pilot proje olarak başlatılmıştır. Bu proje ile ulaşılabilecek ilk ara sonuçlara bağlı olarak proje kapsamı ve alanı daha da genişletilerek ülke boyutunda somut çözüm önerileri getirilmeye çalışılacaktır.

Söz konusu proje kapsamında Ankara-Yozgat hattı pilot alan olarak seçilmiştir (Şekil-3). Bu alanın seçilmesinin nedenleri arasında öncelikle bölgede HGM'ye ait yeterli sayıda yersel gravite ölçüsünün mevcut olması, Konya bölgesine yakın ve ayrıca gelecekte oluşturulması umulan ulusal gravite datumunun başlangıcının Ankara olmasıdır. Yaklaşık 140 km uzunluğundaki Ankara-Yozgat hattında yapılacak görel gravite ölçümleri için hem harita hem de arazide nokta keşif çalışmaları tamamlanarak söz konusu hat üzerinde 21 adet noktada gravite ölçüsü yapılmasına karar verilmiş ve buna ilişkin ölçü planı yapılmıştır. Daha sonra (Nisan 2018 ayı içerisinde) söz konusu bu 21 noktada görel gravite ölçümleri yapılmış olup, aynı noktalarda daha önceki yıllarda GNSS ve nivelman ölçümleri de mevcuttur.

Görel gravite ölçümleri Dokuz Eylül Üniversitesi envanterinde bulunan Scintrex CG-5 AUTOGRAV cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu görel gravite ölçümleri projenin ikinci aşaması olan ve 2019 yılı içerisinde başlaması umulan gravimetrik jeoit belirleme amaçlı kullanım için olup, bu makalenin kapsamı dışındadır.

DFHRS yazılımı kullanılarak elde edilmiş olan geometrik yaklaşık-jeoit hesap sonuçları (jeoit yükseklikleri) aynı noktalara ait olarak HGM'den temin edilen ve Türkiye Ulusal Jeoidi 2003 (TG-03) jeoit modelinden 21 noktadaki kestirim değerleri ve ayrıca arazide GPS nivelmanı ile bulunan gerçek değerler Tablo 2' de verilmiştir. GPS/Nivelman, TG-03 ve DFHRS ile elde edilen jeoit yükseklikleri karşılaştırılmış olup, farklar Tablo 3' te, hesaplama yaklaşımına ilişkin jeoit yüksekliklerine ilişkin bölgesel jeoit haritası ise Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 3. Proje alanı ve jeoit dayanak noktalarının görünümü (Ankara-Yozgat Hattı)

Tablo 2. GPS/Nivelman, TG-03 ve DFHRS Jeoit Yükseklikleri

Nokta No	GPS/Nivelman (m)	TG-03 Kestirim (m)	DFHRS Hesap (m)
1	36,732	36,708	36,718
2	36,716	36,721	36,717
3	36,696	36,710	36,696
4	36,573	36,570	36,592
5	36,422	36,387	36,414
6	36,152	36,195	36,185
7	36,171	36,063	36,177
8	35,991	35,965	35,970
9	35,817	35,838	35,825
10	35,792	35,772	35,779
11	35,777	35,724	35,753
12	35,641	35,636	35,643
13	35,535	35,493	35,531
14	35,381	35,333	35,367
15	35,292	35,295	35,296
16	35,206	35,193	35,167
17	35,026	35,126	35,078
18	35,017	35,091	35,036
19	34,959	35,063	34,988
20	34,962	35,065	34,965
21	35,061	35,095	35,023

Tablo 3. GPS Nivelmanı, TG-03 ile DFHRS Farkları

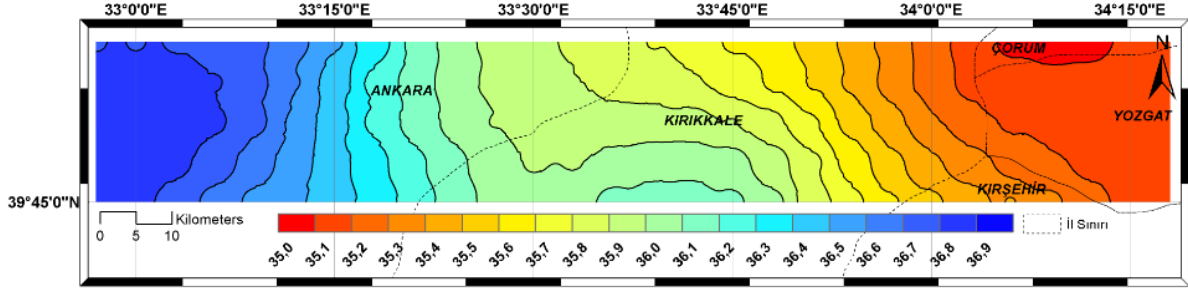
Nokta No	(GPS/Nivelman-TG-03) Farkları (m)	(TG-03-DFHRS) Farkları (m)	(GPS/Nivelman-DFHRS) Farkları (m)
1	0,024	-0,010	0,014
2	-0,005	0,004	-0,001
3	-0,014	0,014	0,000
4	0,003	-0,022	-0,019
5	0,035	-0,027	0,008
6	-0,043	0,010	-0,033
7	0,108	-0,114	-0,006
8	0,026	-0,005	0,021
9	-0,021	0,013	-0,008
10	0,020	-0,007	0,013
11	0,053	-0,029	0,024
12	0,005	-0,007	-0,002
13	0,042	-0,038	0,004
14	0,048	-0,034	0,014
15	-0,003	-0,001	-0,004
16	0,013	0,026	0,039
17	-0,100	0,048	-0,052
18	-0,074	0,055	-0,019
19	-0,104	0,075	-0,029
20	-0,103	0,100	-0,003
21	-0,034	0,072	0,038

Tablo 4. GPS Nivelmanı, TG-03 ile DFHRS Farkları

Farklar	(GPS/Niv-TG-03) Farkları (m)	(TG-03-DFHRS) Farkları (m)	(GPS/Niv-DFHRS) Farkları (m)
En küçük	-0,104	-0,114	-0,052
En büyük	0,108	0,100	0,039
Ortalama	-0,006	0,006	0,000
Standart Sapma	0,055	0,047	0,022

Tablo 3 ve Tablo 4 'ten de görüleceği gibi, Türkiye Ulusal jeoidi (TG-03) ile GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri arasındaki farklar -10 ila +11 cm arasında değişmekte olup, standart sapması ± 5.5 cm'dir. Türkiye Ulusal jeoidi (TG-03) ile geometrik yaklaşımla hesaplanmış olan yaklaşık-jeoit (DFHRS) yükseklikleri arasındaki farklar -11 ila +10 cm arasında değişmekte olup, standart sapması ± 4.7 cm'dir. Bu farklar bize geometrik yaklaşımla hesaplanan doğrulukların çok iyi seviyede olduğunu göstermektedir. TG-03 jeoidinin dış doğruluğunun bölgelerdeki arazi yapısına, veri dağılımına ve sıklığına bağlı olarak ± 10 cm seviyesinde (ve hatta daha kötü) olduğu bir çok araştırmada ifade edilmektedir (Akiz ve Yerci, 2009). Diğer taraftan, arazide nivelman ve GPS ölçüleri ile elde edilmiş GPS nivelmanı jeoit yükseklikleri ile DFHRS'den elde edilmiş yüksekliklerin -5 cm ila +4 cm arasında değiştiği görülmekte olup, standart sapması ± 2.2 cm'dir. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi, geometrik yaklaşımla hesaplanan yerel jeoit bir çok mühendislik uygulaması için ihtiyaç duyulan 5 cm ve daha iyi doğruluk seviyesini sağlamaktadır.

Dolayısıyla, bu çalışmanın ilk aşaması olarak, kullanılan geometrik yaklaşımın ulusal jeoid göre tutarlılığı ve ayrıca aynı noktalarda yapılmış GPS nivelmanı ile bulunan sonuçlardan farklılığı test edilmiştir. Bu test çalışması ile yapılan hesaplamalarla en az TG-03 dış doğruluğunda jeoit yüksekliklerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Oysa, günümüzde bir çok mühendislik projesinde doğrulukların 10 cm'den daha iyi olması beklenmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen yöntem ile söz konusu hedeflere ulaşılabileceği açıktır.



Şekil 4. Ankara-Yozgat Hattı Yaklaşık-Jeoit Yükseklikleri Haritası

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

DFHRS yazılımı ve arazide ölçülmüş veriler kullanılarak Ankara-Yozgat arasındaki 140 kilometrelik hatta (aynı zamanda gravite ölçüsü yapılmış) 21 adet dayanak noktasında geometrik yaklaşıma dayalı “yaklaşık (quasi)-jeoit” hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalarda geometrik yaklaşımla 21 noktada yapılan hesaplama sonucu elde edilmiş olan yaklaşık (quasi)-jeoit yükseklikleri aynı noktalara ait ve HGM’den temin edilmiş olan TG-03 kestirim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda DFHRS ile elde edilmiş olan sonuçların en az TG-03 doğruluğunda olduğu test edilmiştir. Bu test ile, geometrik yaklaşımla yaklaşık-jeoit yüksekliği hesabının mühendislik ve CBS amaçlı olarak çok kısa sürede ve amaca uygun doğrulukta elde edilebileceği sonucuna ulaşmak olanaklıdır. Ayrıca, bu hesaplama modelinin Ağ-RTK ortamında kolaylıkla kullanılabilirliği düşünülebilir.

Diğer taraftan, günümüzde global modellerin doğruluğundaki artış dikkate alınarak ve 1-2 mGal doğruluklu yersel gravite ölçüleri kullanılarak 10 cm’den daha iyi doğruluklu gravimetrik jeoit hesaplamak olanaklıdır. Bu kapsamda örneğin 5 cm doğruluklu olması beklenen bir gravimetrik jeoit modeli ancak bundan daha yüksek bir doğrulukta jeoit yükseklikleri ile kontrol edilmelidir. Bu nedenle, bu çalışmadan elde edilecek hesaplama sonuçlarına dayalı olarak daha kapsamlı bir proje hazırlanarak ve proje bölgesi daha da genişletilip ilave GNSS, nivelman ve gravite ölçüleri de yapılarak elde edilecek yeni verilerin katkısıyla iyileştirilmiş ve hedeflenen doğrulukları sağlayacak

bölgesel gravimetrik jeoit belirlenmeye çalışılacaktır.

TEŞEKKÜR

Söz konusu yayın Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 17401151 proje numaralı "İç Anadolu'nun Bir Bölgesi İçin Gravimetrik Jeoit Sonuçlarının GPS/Nivelman Jeoidi ile Karşılaştırılması" konusu ile ilgili olup, ilgili birimce desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Agren J., Barzaghi R., Carrion D., Denker H., Grigoriados V. N., Klamehr R., Sona G., Tscherning C. C., Tziavos I. N. (2009). Different geoid computation methods applied on a test data set: results and considerations. *Poster presented at Hotine-Marrussi Symp., Rome, 6–12 July, 2009.*
- Akiz E., M. Yerci (2009). Jeoit Kullanarak Elipsoit Yüksekliklerinden Ortometrik Yükseklik Belirleme Yöntemlerinin Doğruluk Araştırması. *Harita Dergisi;S.141;13-25;01/2009.*
- Jäger, R. (1998). Ein Konzept zur selektiven Höhenbestimmung für SAPOS. *Beitrag zum 1. SAPOS-Symposium. Hamburg 11./12. Mai 1998. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). Amt für Geoinformation und Vermessung, Hamburg. S. 131-142.*
- Jäger R., Kälber, S. (2006). Precise Transformation of Classical Networks to ITRF by CoPaG and Precise Vertical Reference Surface Representation by DFHRS - General Concepts and Realisation of Databases for

- GIS, GNSS and Navigation Applications. *Proceedings to GeoSiberia 2006. Volume 1. S. 3-31. Novosibirsk, Russia. ISBN 5-87693-199-3.*
- Jekeli, C. (2000). Heights, the Geopotential and Vertical Datums. *Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, OSU, 2000.*
- Kahveci M. (2018). Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları. *Nobel Yayın, Ankara.*
- Kahveci M., F. Yıldız (2018). Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS): teori-Uygulama. *Nobel Yayınları, Ankara.*
- Kahveci M., E. Tuşat, F.Yıldız, F.Sarı, F.Mikailsoy (2018). Determination of Local Quasi-Geoid in Central Anatolia for Engineering and GIS Purposes. *EURASIAN GIS 2018 Congress 04-07 September 2018 Baku/AZERBAIJAN.*
- Schwarz K-P., Sideris M.G., Forsberg R. (1990). Use of FFT methods in Physical Geodesy. *Geophysical Journal International, 100:485-514.*
- Sjöberg L.E. (2003). A computational scheme to model the geoid by the modified Stokes' formula without gravity reductions. *J. Geod., 77, 423-432.*
- Sjöberg L.E. (2005). A discussion on the approximations made in the practical implementation of the remove-compute-restore technique in regional geoid modeling. *J. of Geod. 78:645-653.*
- Yildiz, H., Forsberg, R., Ågren, J., Tscherning, C.C., Sjöberg, L.E. (2011). Comparison of Remove-Compute-Restore and Least Squares Modification of Stokes' Formula Techniques to Quasi-geoid Determination over the Auvergne Testarea. *Journal of Geodetic Science, 2:53-64, 2011.*
- Yilmaz, M , Turgut, B , Gullu, M , Yilmaz, I . (2016). Evaluation of recent global geopotential models by gnss/levelling data: internal aegean region. *International Journal of Engineering and Geosciences, 1 (1), 15-19. DOI: 10.26833/ijeg.285221, 2016.*