

PRESİZYONLU LOKAL GEOİT MODELİ BELİRLENMESİNDE ÖRNEK BİR İNCELEME – GPS NİVELMAN VE GEOİT YÜKSEKLİKLERİNİN ENTEGRASYONU

B. Erol¹, R.N. Çelik²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, bihter@itu.edu.tr

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, celikn@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın hedefleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda Avrupa gravimetrik geoit modeli EGG97 ve Türkiye Ulusal Geoit modeli TG99A'nın performansları çalışma alanındaki GPS/Nivelman noktaları kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci adımında ise GPS, nivelman ve geoit yükseklikleri kombinasyonu ile GPS elipsoidal yüksekliklerinin bölgesel düşey datumdaki ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesini sağlayacak bir düzeltme yüzey modeli hesaplanmıştır. Referans noktalarındaki yükseklik farkları ile hesaplanan parametrik modelin test edilmesi ve Türkiye’de GPS uygulamalarında yükseklik dönüşümüne sağlayabileceği katkı da bildiri içerisinde ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Lokal geoit, Elipsoidal yükseklik, Ortometrik yükseklik, Geoit yüksekliği.

ABSTRACT

A CASE STUDY ON PRECISE LOCAL GEOID MODELLING – GPS LEVELLING AND GEOID HEIGHTS INTEGRATION

The purpose of this study is twofold. Mainly, to test the performances of European gravimetric geoid EGG97 and Turkey geoid TG99A at co-located GPS/ Levelling points in the test areas that is in the western part of Turkey by comparing with GPS/Levelling control points. And secondly modeling an appropriate corrector surface by combining GPS/Levelling/ Geoid heights to provide an optimal transformation model between GPS derived geoid heights and orthometric heights in Turkish vertical datum. Also testing the performance of the corrector surface between GPS/ Levelling and mentioned geoid surfaces and clarifying its contribution to solution of height transformation problem in practical geodetic applications in Turkey is included in the coverage of this study.

Keywords: Local geoid, Elipsoidal height, Orthometric height, Geoid height.

1. GİRİŞ

Uydu sistemlerine dayalı konumlama tekniklerinin jeodezik çalışmalara yüksek doğruluklu üç boyutlu koordinat bilgisi sağlaması ile birlikte bu teknikler jeodezinin çok değişik amaçlı uygulamalarında benimsenmiş ve günümüzde yoğun olarak kullanılır hale gelmiştir. GPS (Global Positioning System) tekniği ile yeryüzünde bir noktanın X, Y, Z kartezyen koordinatları ve ϕ , λ elipsoidal-enlem, boylam ve h elipsoidal yüksekliği yer merkezli bir koordinat sistemine göre yüksek doğrulukla elde edilir. Ancak GPS ile elde edilen elipsoidal yüksekliğin jeodezi ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için bölgenin yükseklik datumunda tanımlanmış ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Ortometrik yüksekliklerin elde edildiği nivelman ölçmeleri sağladığı yüksek doğruluğun yanı sıra zaman ve iş gücü gerektiren oldukça zahmetli bir ölçme tekniği olması nedeniyle, GPS yüksekliklerinden (h) ortometrik yüksekliklerin (H) elde edilmesini sağlayacak presizyonlu geoit modellerinin hesaplanması ve kullanılması günümüzde pratik jeodezik uygulamalar açısından daha önemli hale gelmiştir.

Salt gravimetrik yöntem uygulanarak belirlenen geoit modellerinin mutlak doğrulukları yukarıda sözü edilen amaçlar için yeterli olmamaktadır. Günümüzde uygulamaların geneline bakıldığında gereksinimi karşılayacak yüksek doğrulukta geoit modellerinin elde edilmesinde farklı veri guruplarının katkı verdiği hesap tekniklerinin uygulandığı böylelikle daha doğru geoit modellerinin hesaplandığı görülmektedir. Özellikle GPS tekniğinin uygulamalara yönelik pratik bir çözüm olarak gündeme getirdiği, jeodezik nivelman ihtiyacını karşılayabilecek bir geoit modelinin 10 cm’ nin altında bir mutlak doğruluğa sahip olması gerekmektedir ($H = h - N$). Gravimetrik yöntem ile belirlenen bir geoit modelinin doğruluğunun kestirilmesi için ve modeldeki bias ve eğimlerin (tilt) giderilmesi için gravimetrik geoit yükseklikleri, GPS/ Nivelmandan üretilen geoit yükseklikleri ile karşılaştırılır. Aradaki farkların istatistiksel analizi ve modellenmesi:

- yer gravite alanının global küresel harmonik modellerinin o çalışma bölgesindeki performansının test edilmesi,
- lokal/ bölgesel gravimetrik geoit modelinin ve bu modelin belirlenmesi için kullanılmış olan hesap tekniğinin test edilmesi,

- fiziksel geoit yüzeyi ile lokal yükseklik datum yüzeyi arasında dönüşümün optimal olarak gerçekleşmesini sağlayacak analitik bir yüzeyin hesaplanması,
- gravimetrik geoit modelinin iyileştirilmesi için analitik bir yüzey modelinin belirlenmesi,
- düşey kontrol ağlarının izlenmesi, test edilmesi ve iyileştirilmesi ,

gibi bir çok amaç için çözüm sağlayacak bir yaklaşımdır.

Teorik olarak, fiziksel anlamı ile düşünüldüğünde, çözümde entegre edilecek her üç yükseklik bilgisinin (GPS yüksekliği h , nivelman yüksekliği H ve geoit yüksekliği N) aralarındaki ilişkiyi anlatan ' $h_i - H_i - N_i = 0$ ' temel bağıntısının sağlanması beklenir. Pratikte ise aralarında böylesi bir ilişkinin sağlanması,

- her üç yükseklik bilgisinin içerdiği rasgele hatalar,
- datumları arasındaki uyumsuzluk ve her bir veri gurubundaki olası diğer sistematik bozulmalar (gravimetrik geoit modelinden hesaplanan geoit yüksekliği N_{grav} nin içerdiği uzun dalga boylu hatalar, nivelman ağının aşırı zorlamalı dengelenmesinden kaynaklanan düşey datum bozulmaları, gravimetrik geoit yüzeyi ile bölgesel düşey datum arasındaki uyumsuzluklar-sapmalar),
- jeodinamik etkiler (büyük buzul kitlelerinden kaynaklı etkiler, karaların çökmesi, plaka deformasyonları, ortalama deniz seviyesi değişimleri, nokta tesislerinin zamanla deforme olması-yer değiştirmesi),
- H ve N değerlerinin hesaplanmasındaki teorik varsayımlar (geoit modelinin hesaplanmasında uygun olmayan arazi yoğunluk modelinin kullanılması ya da ihmal edilmesi, ortometrik yüksekliklerin hesaplanmasında yeryüzü gravite ölçüleri yerine normal gravite değerlerinin kullanılması, mareograf istasyonlarındaki ölçmelerde deniz yüzeyi topografyasının ve olası hata kaynaklarının ihmal edilmesi),

gibi nedenlerden dolayı mümkün değildir.

GPS uygulamalarına hizmet edecek yüksek doğruluklu bir geoit modelinin belirlenmesi için farklı veri gruplarının entegre edilmesinde iki farklı çözüm uygulanır. Bunlardan birincisi her bir veri gurubunu (örneğin gravite ölçüleri, küresel harmonik jeopotansiyel model katsayıları, topografik veriler (DEM), GPS/Nivelman ölçmeleri vb.) geoit yüksekliğini sağlayan tek bir fonksiyon şeklinde bir araya getirmek ve bu fonksiyonu uygulayarak geoit yüksekliğini belirlemek. İkinci bir çözüm yöntemi ise aynı işlemi iki ayrı adımda gerçekleştirmektir. Uygulana gelen gravimetrik geoit modelleme yaklaşımı bu ikinci çözüm yöntemini temel almaktadır. Öncelikle gravite ölçüleri, küresel harmonik model katsayıları ve topografik veri ile geoit yüksekliklerini elde etmek ve sonrasında belirli doğrulukta hesaplanan bu geoit yüksekliklerini diğer veri gurupları ile (GPS/Nivelman verisi gibi) iyileştirmek. Birinci çözüm yaklaşımı karmaşık fonksiyonel model ve stokastik bilgi (her bir veri gurubunun ağırlıkları gibi) gerektirmesi nedeniyle rahatlıkla uygulanabilir bir çözüm değildir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma gravimetrik geoit modeli ile GPS/Nivelman verilerinin uygulanabilir bir model belirlemeye yönelik entegrasyonuna odaklanmıştır. Gravimetrik olarak üretilen geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman' dan türetilen geoit yükseklikleri arasındaki farkları rasgele hataların yanı sıra gravimetrik geoit modelinin iyileştirilmesinde gerekli olacak sinyalleri de içermektedir. Bu farkların modellenmesinde uygulanabilir birçok model ve teknik vardır. Burada En Küçük Kareler Kollokasyonu Yöntemi uygulanmış ve böylelikle gravimetrik geoit yüksekliklerinin düzeltilmesi için gerekli sinyaller hesaplanmıştır.

Araştırmaya konu olan lokal test alanı Marmara bölgesinin doğusunda Sakarya ilini de sınırları içine alan 100 x 180 km² lik bir bölgeyi kapsamaktadır. Bölgede topografya engebeli bir yapıya sahiptir ve yükseklikler yaklaşık 0 ile 1800 m. arasında değişmektedir. Çalışmada uygun ve homojen olarak dağılmış 109 GPS/Nivelman noktası kullanılmıştır. Kullanılan verilere ilişkin detaylı bilgilere ilerleyen bölümlerde yer verilecektir.

Çalışma iki farklı gravimetrik model kullanılarak iki ayrı bölümde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modeller Avrupa gravimetrik geoidi EGG97 ve Türkiye bölgesel geoit modeli TG99A dır. TG99A geoit modeli salt gravimetrik bir model olmamakla birlikte gravimetrik modelin farklı veri gurupları ile iyileştirilmesinden elde edilmiş hibrit bir modeldir. Her iki modelin test bölgesindeki performansını irdelemek amacıyla GPS/Nivelman yüzeyi ile karşılaştırılmış, farkların istatistikleri irdelenmiştir. Böylelikle iki modelin performansları kabaca karşılaştırılmış olmuştur. Sonrasında farklar modellenmiş ve analitik yüzey modeli ile ifade edilmiştir. Oluşturulan bu yüzey modeli, hesaba katkı vermeyen ve yalnızca test amaçlı seçilmiş GPS/Nivelman noktalarında ve modelde kullanılan GPS/Nivelman noktalarında ayrı ayrı test edilerek üretilen çözümün uygulanabilirliği mutlak ve rölatif doğrulukları ile irdelenmiştir.

En Küçük Kareler Kollokasyon modelinde, deterministik kısmın belirlenmesinde farklı parametrik modellerin performansları birbirleri ile karşılaştırılarak en uygun parametrik modelin çözüme katkı vermesine çalışılmıştır. Bu amaçla uygulanan testlerden de söz edilecektir. Çalışmanın sonucunda, iki farklı gravimetrik geoit modeline dayalı

olarak üretilen farklar birbirleri ile karşılaştırılmakta, üretilen çözümlerin uygulanabilirliği irdelenmektedir. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

2. GPS/GEOİT NİVELMANI - PARAMETRİK MODEL BELİRLEME

GPS' den elde edilen elipsoidal yükseklikler, ortometrik yükseklikler ve geoit yükseklikleri arasındaki ilişkinin (1) numaralı eşitlik ile ifade edildiği, ancak uygulamada bu bağıntının aritmetik olarak sağlanamayacağı fiziksel ve matematiksel nedenleri ile giriş bölümünde belirtilmiştir.

$$h - H - N = 0 \quad (1)$$

Bu temel bağıntının gerçekleşmemesine neden olan tüm faktörler uygulamada, GPS'den türetilen ortometrik yüksekliklerin doğruluklarına etki etmektedir. Tüm bu istenmeyen etkilerin, özellikle de sistematik hataların ve datum farklılıklarından kaynaklanan etkilerin minimuma indirilmesinde GPS/Nivelman geoit yükseklikleri ile gravimetrik yöntem ile üretilen geoit yükseklikleri arasındaki farklara göre üretilen analitik modeller uygulanabilir (Fotopoulos 2003, Kotsakis ve Sideris 1999, Featherstone 1998). İki yöntem ile elde edilen geoit yükseklikleri arasındaki farkların bu şekilde modellenmesi ile gravimetrik yöntem ile belirlenen geoit GPS/Nivelman noktalarında bölgesel yükseklik datumuna çakıştırılmaktadır. Bu sayede, gravimetrik geoit modelinden yeni hesap noktalarında hesaplanacak geoit yükseklikleri düzeltilerek, ortometrik yükseklikler, o bölgenin yükseklik datumunda, GPS ölçmelerinden doğrudan türetilirler (Featherstone 1998).

Bu yöntem üç adımda uygulanır:

- i- uygun bir modelin belirlenmesi
- ii- modelin maksimum açılımının (derece ve mertebesinin) saptanması
- iii- hesaplanan modelin test edilmesi

Literatürde böylesi çalışmalarda çok sayıda farklı modellerin uygulandığı görülmektedir, bununla birlikte uygulanacak modelin seçilmesi önceki çalışmalardan bağımsız ve tamamen deneysel bir süreçtir. Bu süreçte çalışma bölgesinin özelliklerini baştan göz önünde bulundurmak arayış sürecini kısaltır. Parametreler (h, H ve N) arasındaki fiziksel ilişkileri aşağıdaki şekilde ifade edilirler:

$$l_i = h_i - H_i - N_i = A^T x + v_i$$

(2)

$$A^T x = N_{GPS/Lev.} - N_{Grav.} \quad (3)$$

2.1 Polinom Eşitlikleri

Yükseklikler arasındaki farkların modellenmesinde parametrik bağıntılar oldukça sık kullanılırlar. Bunların genel ifadeleri 4 numaralı eşitlikte verilmektedir.

$$p = b_1 f_1 + b_2 f_2 + b_3 f_3 \dots + b_q f_q \quad (4)$$

Bağıntıda $b_1, b_2, \dots, b_q$ bilinmeyen parametreler, $f_1, f_2, \dots, f_q$ temel fonksiyonlardır. Bu temel fonksiyonlardan bir türü de değişik derecelerden polinomlardır. 5 numaralı eşitlikte bu polinomların genel ifadesi çok değişkenli regresyon eşitliği şeklinde verilmektedir:

$$A^T x = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \left(\phi_{\tau\varphi}^{-n} \right) \left(\chi_{\tau\lambda}^{-m} \right) x_q \quad (5)$$

eşitlikte M ve N her bir değişkenin maksimum derecelerini, $\bar{\varphi}$ ve $\bar{\lambda}$ GPS/ Nivelman noktalarının ortalama enlem ve boylam değerlerini, x_q bilinmeyen polinom katsayılarını ifade etmektedir.

2.2 En Küçük Kareler Kollokasyonu

En Küçük Kareler Yöntemi ile birlikte prediksyon ve filtreleme adımlarını da içeren özel bir hesaplama yöntemidir. Bu çalışmada söz konusu yükseklik farklarının modellenmesinde, veri guruplarının olası sistematik uyumsuzlukları seçilen fonksiyonel model tarafından yeterli biçimde ifade edilemeyebilir. En Küçük Kareler Kollokasyonu (EKKK)

ile bu yetersizliğin üstesinden gelinebilir. EKKK yöntemi ile, fonksiyonel model, komşuluk ilişkilerine dayalı korelasyon matrisleri ile oluşturulan stokastik modeller ile hassaslaştırılır. Bu sayede daha gerçekçi bir model ortaya konur.

Bu yöntemle ilişkin temel bağıntılara aşağıda yer verilmektedir:

$$\underline{l} = \underline{A}^T \underline{x} + \underline{v} \quad (6)$$

$$\underline{l} = \underline{A}^T \underline{x} + \underline{v} + \underline{s} \quad (7)$$

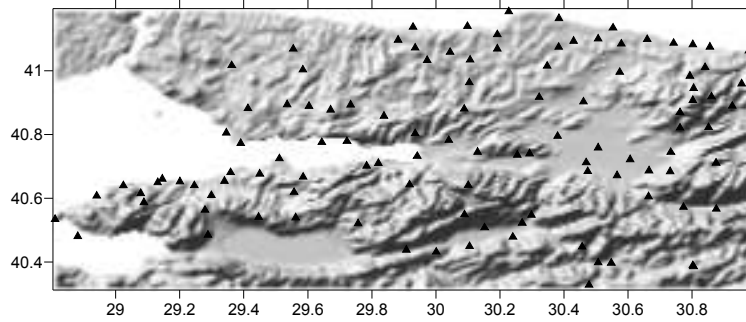
6 numaralı eşitlik klasik parametrik dengeleme modeli iken 7 numaralı eşitlik $\underline{s}$ sinyal vektörü (rastgele dağılımlı sistematik hatalar vektörü) ile genişletilmesi sonucunda basit kollokasyonun fonksiyonel modelini ifade etmektedir. Bu ifadelerde $\underline{l}$ gözlemeler vektörünü, $\underline{v}$ rastgele ölçü hatalarını (noise), $\underline{A}^T \underline{x}$ deterministik bölümü (trend, düzenli-sistematik) ifade etmektedir. Burada düzeltmelerin ve sinyallerin ortalama değerleri; $E\{\underline{v}\}=0$, $E\{\underline{s}\}=0$ dır.

Çalışmada, yeni hesap noktalarında geoit yükseklik farkları, seçilen parametrik model ile hesaplanır ve ardından bu fonksiyonel model ile ifade edilemeyen etkiler EKKK yöntemi ile kestirilir.

3. UYGULAMA

3.1 Test Alanı ve Kullanılan Veriler

Uygulamaya konu olan test alanı Şekil 1 deki haritadan da görüldüğü üzere, Sakarya ili ve çevresini içine almaktadır. Test alanı ile ilgili detaylı bilgi için Tablo 1 e bakınız.



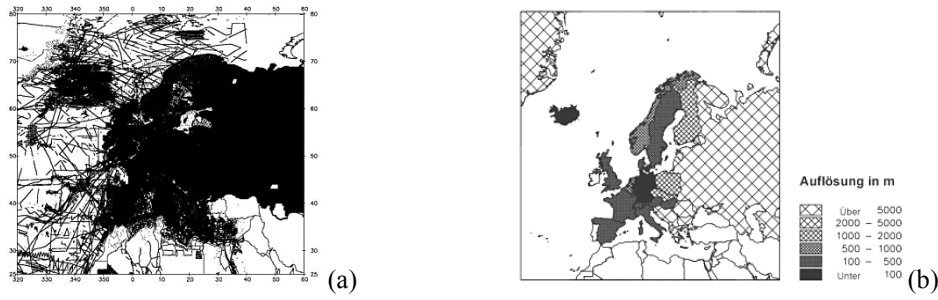
Şekil 1: Test alanı, topografik yapısı, GPS/ Nivelman noktalarının bölgedeki dağılımı ve sıklığı

Test Alanı	Veri Yılı	ITRF epok	Alan (km ²)	Kullanılan veriler	Veri doğruluğu	Nokta Sayısı	Nokta / km ²
Sakarya	2002	1996	100x180	GPS Presiz. Nivel. N _{TG99A} N _{EGG97}	±1.5, ±2.0 cm ±0.2 cm/km ≈ ±0.2 m ≈ ±0.6 m	109	1 / 165

Tablo 1: Test alanı ve kullanılan veri grupları ile ilgili bilgiler.

3.2 Avrupa Gravimetrik Geoidi EGG97

Avrupa gravimetrik geoidi EGG97 global yer modeli EGM96 ve yüksek çözünürlüklü gravite ve yersel verilerin kombinasyonu ile Rusya ve diğer bazı Doğu Avrupa ülkelerinden de veriler kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2). Modelin hesaplanmasında Hannover Üniversitesi veri tabanındaki veriler kullanılmıştır (Torge and Denker 1998).



Şekil 2: Şekil (a) da yer alan harita EGG97 geoit modelinin hesaplanmasında kullanılan gravite verilerinin bölgelere göre yoğunluğu (b) deki harita ise kullanılan Sayısal Arazi Modellerine ilişkin bilgiler ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan EGG97 verileri Uluslararası Geoit Servisi IGeS' in den sağlanmıştır (URL 1). Model $25^{\circ} 5' N$ - $76^{\circ} 55' N$ enlemleri ile $34^{\circ} 52' 30'' W$ - $67^{\circ} 22' 30'' E$ boylamları arasındaki alanı kaplar. Kullanılan veriler $10' \times 15'$ uzamsal çözünürlükte grid değerleri olarak alınmış ve GPS/Nivelman noktaları için geoit yükseklikleri enterpolasyon ile hesaplanmıştır.

3.3 Türkiye Geoidi TG99A

Türkiye Geoidi TG99A, TG91 gravimetrik modeli ve 184 GPS/ Nivelman noktası kullanılarak hesaplanmış hibrid bir modeldir. GPM2-T1 jeopotansiyel modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Mutlak doğruluğu ülke genelinde ± 12 cm (ülkenin ortalarında) ile ± 20 cm (kıyılar boyunca, sınır bölgelerinde ve dağlık alanlarda) arasında değiştiği resmi raporlarda verilmektedir (bkz. Anonim, 2002). Test alanında homojen olarak dağılmış 109 adet GPS/Nivelman noktasından 99 adetinin TG99A modeline göre hesaplanmış geoit yükseklikleri kullanılmıştır. Bu noktalar TG99A modelinin hesaplanmasında katkı vermeyen noktalarlardır.

3.4 Geoit Modelleri ile GPS/ Nivelman Verilerinin EKKK Yöntemi ile Kombinasyonu

Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci adımında GPS/Nivelmandan elde edilen geoit yükseklikleri, EGG97 ve TG99A ile karşılaştırılmıştır. Bu geoit yükseklik farkları'nın istatistiksel irdelemelerinin ardından her iki geoit modelinin test alanındaki performansları değerlendirilmiştir. İkinci adımda geoit modelleri (EGG97 ve TG99A) ayrı ayrı ele alınarak, GPS/Nivelmandan olan farkların modellenmesi için trend fonksiyonuna karar verilmiş ve ard arda gerçekleştirilen beş aşamalı testler ile kararın doğruluğu sınanmıştır. Fonksiyonel modelin araştırılması aşamasında denen seçenekler, düşük dereceden modeller ve yüksek dereceden modeller olarak iki guruba ayrılabilir ve aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

Düşük dereceden modeller:

- a- 1. dereceden polinom (3 parametrelili)
- b- 4-parametrelili model (bkz. Kotsakis ve Sideris 1999)
- c- 5-parametrelili model (bkz. Kotsakis ve Sideris 1999)
- d- 2. dereceden polinom (6 parametrelili)

ve yüksek dereceden modeller:

- e- diferansiyel benzerlik (7 parametrelili) (bkz. Moritz 1980)
- f- 3. dereceden polinom (10 parametrelili)
- g- 4. dereceden polinom (15 parametrelili)

Bu fonksiyonun belirlenmesinin ardından, fonksiyonun bilinmeyen katsayıları En Küçük Kareler yöntemine göre hesaplanmıştır. Çalışmanın üçüncü ve son adımında ise EKKK yöntemi uygulamaya konmuş, çalışmayı test etmek amacıyla seçilen yeni hesap noktalarındaki yükseklik farkları Kollokasyon dan gelen sinyaller ile hesaplanmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Çalışmaya başlamadan önce kullanılacak veri gruplarının olası kaba hatalara karşı test edilmesi de önemlidir. GPS/Nivelman noktaları çalışmaya başlamadan önce kaba hatalara karşı test edilmişlerdir.

4. SONUÇLAR

Çalışmanın birinci aşamasında GPS/Nivelman geoidi EGG97 ve TG99A ile karşılaştırılmıştır. Aradaki farklar her bir model için ayrı ayrı irdelenmiştir (bkz. Tablo 2).

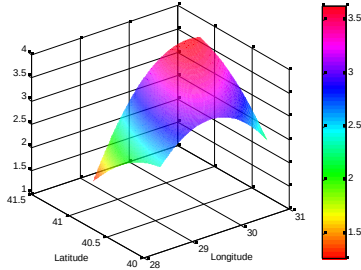
İrdemelere göre, EGG97 modelinin test alanındaki performansı GPS/Nivelmandan olan farkların standart sapması göz önünde tutulduğunda oldukça kötüdür. EGG97 geoit modelinin hesaplanması sırasında Türkiye'ye ait yersel veri kullanılmamış olması (bkz. Şekil 2) böylesi bir sonucun nedenlerinden bir tanesidir. Modelin Türkiye' yi içerisine alan bölümünde veri yoksunluğundan dolayı ekstrapolasyon yapıldığı ve üretilen grid değerlerinin de bu

şekilde hesaplandığı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, beklendiği üzere, TG99A modelinin test alanı içerisinde EGG97 modeline kıyasla daha iyi sonuç verdiği ancak mühendislik ölçmeleri, büyük ölçekli harita yapımı gibi jeodezik uygulamalarda yeterli olmadığı görülmüştür.

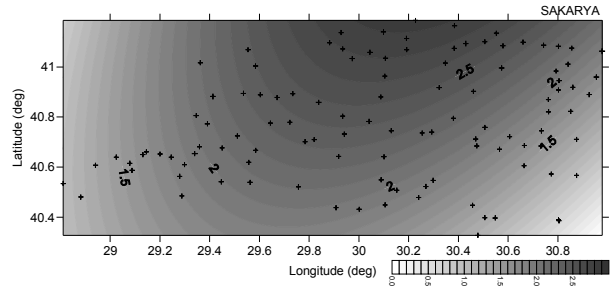
Geoit model	Min.	Maks.	Ort.	σ	RMS
$N_{GPS/Niv.} - N_{EGG97}$	0.612	2.953	2.048	0.572	0.572
$N_{GPS/Niv.} - N_{TG99A}$	-0.692	0.356	-0.226	0.222	0.222

Tablo 2: GPS/Nivelman'ın EGG97 ve TG99A modelleri ile karşılaştırması (birimler m. dir)

Çalışmanın ikinci aşamasında uygulanan istatistiksel testlerin sonuçları irdelenerek, GPS/Nivelman ve EGG97 modeli arasındaki farkların modellenmesinde en uygun fonksiyonel modelin 2. dereceden polinom olacağına karar verilmiştir. Şekil 3 ve 4 te hesaplanan polinom yüzeyi üç boyutlu ve iki boyutlu olarak görülmektedir.

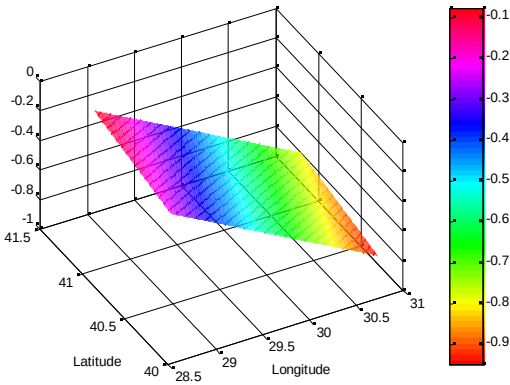


Şekil 3: GPS/ Nivelman – EGG97 (2. dereceden polinom) ve referans noktaları dağılımı

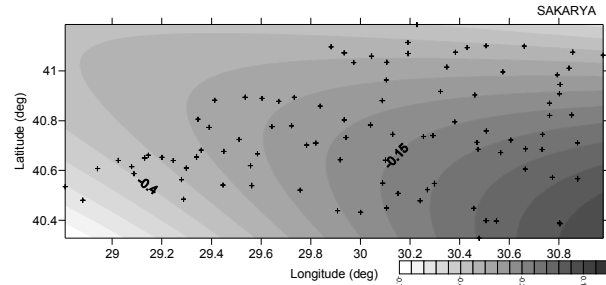


Şekil 4: $N_{GPS/Niv.} - N_{EGG97}$ farkları (polinom yüzeyi)

TG99A modeli ile GPS/Nivelman modeli arasındaki farklar en uygun biçimde 1. dereceden bir polinom eşitliği ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan polinoma ilişkin grafikler Şekil 5 ve 6 da görülmektedir.



Şekil 5: GPS/ Nivelman – TG99A (1. dereceden polinom)



Şekil 6: $N_{GPS/Niv.} - N_{TG99A}$ farkları polinom yüzeyi ve referans noktaları dağılımı

Tablo 3 de, (a) bölümünde GPS/Nivelman ve EGG97 modeli arasındaki farkların modellendiği 2. dereceden polinoma ilişkin istatistikler, (b) bölümünde ise TG99A modeli ile olan farkların modellendiği 1. derece polinoma ilişkin istatistikler gösterilmekte. Her iki bölüm için, tablonun üst satırında yer alan değerler referans noktaları kullanılarak gerçekleştirilen testlerin sonuçlarını, ikinci satırdaki değerler ise model parametrelerinin hesaplanmasına katkı vermemiş test noktaları için hesaplanmış istatistiklerdir.

	Model	Min.	Maks.	μ	σ	rms
(a)	2. derece polinom (EGG97)	-0.849 -0.912	0.644 0.677	0.000 -0.002	0.270 0.286	0.270 0.286
(b)	1. derece polinom (TG99A)	-0.386 -0.408	0.442 0.474	0.000 0.002	0.121 0.129	0.121 0.129

Tablo 3: Fonksiyonel modellerin istatistiksel değerlendirmesi (birimler m. dir)

Çalışmanın üçüncü aşamasında EKKK yönteminin yeni hesap noktalarında uygulanması her iki modele de olumlu katkı yapmıştır. Kollokasyon farklı kombinasyonlar ile seçilen 20'şerlik test gruplarında test edilmiştir. 2. dereceden polinom (EGG97) ile uygulandığında karesel ortalama hata (rms) ± 0.28 m. ve 1. dereceden polinom (TG99A) ile uygulandığında karesel ortalama hata (rms) ± 0.13 m. olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Anonim., 2002. *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 A (TUTGA99A)*, Harita Dergisi, Özel Sayısı, Harita Genel Komutanlığı, Sayı.16, ISSN 1300-5790, Ankara, Türkiye

Çelik, R. N., Ayan, T., Erol, B., 2001. *MERLIS (Marmara Earthquake Region Land Information System) Jeodezik Altyapı çalışmaları için Geoit Modeli Belirleme*, Teknik Rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi Proje No. 2002/06/209

Featherstone, W. E. 1998, *Do we need a gravimetric geoid or a model of the Australian height datum to transform GPS Heights in Australia?*, The Australian Surveyor, vol. 43, no. 4, pp. 273-280

Fotopoulos, G., 2003. *An Analysis on the Optimal Combination of Geoid, Orthometric and Ellipsoidal Height Data*, Doktora Tezi, Calgary Üniversitesi, Department of Geomatics Engineering, Report No. 20185

Kotsakis, C., Sideris, M. G., 1999, *On the Adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks*. Journal of Geodesy, Vol. 73, no. 8, pp. 412-421

Moritz H. 1980, *Advanced Physical Geodesy*, Abacus Pres, Tunbridge Wells Kent, ISBN 3-87907-106-3 Helbert Wichmann Verlag Karlsruhe

Torge, W., Denker, H. 1998, *The European Geoid*, Second Continental Workshop on the Geoid in Europe, Budapest, Hungary, March 10-14, 1998, Proceedings, Ed. M. Vermeer and J. Adam, Reports of Finish Geodetic Institute, 98:4, ISBN 951-711-222-X

URL 1, IGeS İnternet Sitesi, http://www.iges.polimi.it/index/geoid_repo, Haziran 2004.