

Büyük Ölçekli Harita Üretiminde GPS ile Ortometrik Yükseklik Belirlemeye Yönelik Jeoid Modelleme ve Uygulamalar

A. Kılıçoğlu, O. Fırat

Harita Genel Komutanlığı, 06100 Cebeci/Ankara, ✉ akilicoglu@hgk.mil.tr , ofirat@hgk.mil.tr

Özet. Özellikle son on yıl içerisinde Global Konumlama Sistemi (GPS)'nin her türlü uygulamalarda duyarlı konum belirleme amacıyla kullanılması diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de köklü değişimlere neden olmuştur. GPS ile kolay, hızlı ve duyarlı bir şekilde elde edilen üç boyutlu koordinatlar büyük ölçekli harita üretimi ve coğrafi bilgi sistemi amaçlı veri toplama gibi uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GPS ile elde edilen enlem ve boylam olduğu gibi veya dönüştürülerek doğrudan kullanılmakta ancak elipsoid yükseklikleri uygulamada kullanılamamaktadır. Elipsoid yüksekliklerinden uygulamada kullanılan ortometrik yüksekliklere dönüşüm için yeterli doğrulukta jeoid yüksekliklerinin bilinmesi gerekir. Türkiye'de halen Türkiye Jeoidi-1999A kullanımda olup yeni Türkiye Jeoidi hesaplama çalışmaları da tamamlanmak üzeredir.

GPS tekniğinin uygulanmasındaki artışa paralel olarak büyük ölçekli haritaların üretimine ilişkin mevcut yönetmeliğin de değişmesi ve GPS kullanımına uygun hale getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Hazırlanan yeni yönetmelik taslağı GPS'in diğer uygulamalar yanında ortometrik yüksekliklerin elde edilmesi için uygulanacak ölçü ve hesap yöntemlerini de içermektedir.

Yeni yönetmelik taslağında elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklere dönüşüm için dört genel yöntem verilmektedir. Bu yöntemler; mevcut TG99A jeoid modelinin doğrudan kullanılması, mevcut TG99A jeoid modelinin yerel GPS/Nivelman noktaları ile güncelleştirilerek kullanılması, bazvektörlerinde ortometrik yükseklik farkları hesaplanarak GPS/Nivelman ağ dengelemesi yapılması ve mevcut TG99A jeoid modelini kullanmadan yerel GPS/Nivelman noktalarına dayanan bir yerel jeoid modelinin belirlenmesini ve doğrudan kullanılmasıdır.

Bu çalışmada kısaca mevcut jeoid modelleri ile GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması konusunda açıklama ve uygulamalar verilmektedir. Seçilen test bölgelerinde

yönetmelik taslağında önerilen her iki yöntem de uygulanmış olup TG99A jeoid modelinin GPS/nivelman jeoid yükseklikleriyle yerel güncelleştirilmesi veya GPS/Nivelman ağ dengelemesi tekniğinin uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler. jeoid, elipsoid yüksekliği, ortometrik yükseklik, GPS

Abstract. The use of GPS in all kinds of engineering applications for determining precise coordinates, especially in the last ten years, has made fundamental changes in Turkey as in the other countries. 3-D precise coordinates, easily obtained by GPS, are widely used in such applications as large scale map production and Geographical Information System. The latitude and longitude obtained by GPS are used directly as they are or after suitable transformations, but ellipsoidal heights can not be used in applications. For the transformation from ellipsoidal heights to orthometric heights, which are used in applications, geoid heights must be known with required accuracy. In Turkey, Turkish Geoid-1999A is used at the moment and the computation of the new Turkish geoid is about to be finished by the end of 2003.

The bylaws for large scale map production is required to be changed and allow to GPS applications, as parallel to the increasement in application of the GPS technique. The new draft bylaw contains observation and calculation methods for obtaining orthometric heights by GPS, as well.

For transforming ellipsoidal heights into orthometric heights, four general methods are given in the new draft bylaw. These methods are, (a) using existing TG99A geoid directly, (b) local updating existing TG99A geoid by local GPS/Levelling points, (c) adjustment of the orthometric height differences on the base vectors, (d) determination of a local GPS/Levelling geoid.

In this study, explanations and applications are

given briefly about the existing geoid models and orthometric height computation from ellipsoidal heights obtained by GPS. Methods were applied in chosen area and it was seen that (b) and (c) methods gave appropriate results.

Keywords. geoid, ellipsoidal height, orthometric height, GPS

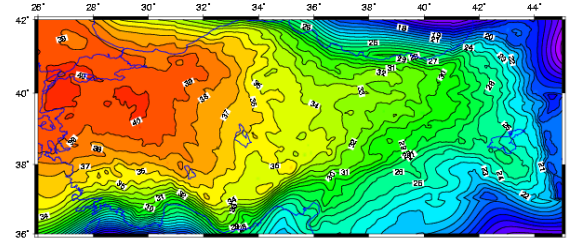
1 Giriş

GPS ile noktaların global jeosentrik bir koordinat sisteminde enlem, boylam ve elipsoid yükseklikleri belirlenmektedir. Harita yapımı ve mühendislik çalışmalarında ise noktaların ortometrik yüksekliklerinin kullanılması gerekmektedir. Ortometrik yükseklikler klasik olarak Ulusal Düşey Kontrol Ağına bağlı olarak geometrik nivelman ölçüleri ile belirlenmektedir. Ancak bu durum GPS teknolojisinin sağladığı 3-boyutta koordinat belirleme olanağının tam olarak kullanılamaması anlamına gelmektedir. Bu nedenle GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinin doğrudan ortometrik yüksekliğe dönüştürülebilmesi için uygun jeoid modellerinin belirlenmesi ve kullanıma sunulması gerekmektedir.

1.1 Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91)

Türkiye’de jeoid belirleme ile ilgili olarak yapılan bilinen çalışmalar 1976 yılında başlamış olup halen sürmektedir. 1991 yılında gravite, topoğrafya ve global jeopotansiyel model kullanılarak En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemi ile tüm Türkiye için hesaplanan gravimetrik jeoid (TG-91); Türkiye’de ilk kez çok sık heterojen veri kullanılarak hesaplanan ve topoğrafya ile gravitenin kısa ve çok kısa dalga boylu etkilerini de içeren bir jeoid modeli olması nedeniyle önemlidir (Ayhan, 1992; 1993).

TG-91; yer potansiyel modeli (GPM2-T1), topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin “kaldır-yerine koy” (remove-restore) tekniği kullanılarak EKKK yöntemiyle değerlendirilmesi ile GRS-80 elipsoidine göre belirlenmiştir (Şekil 1).

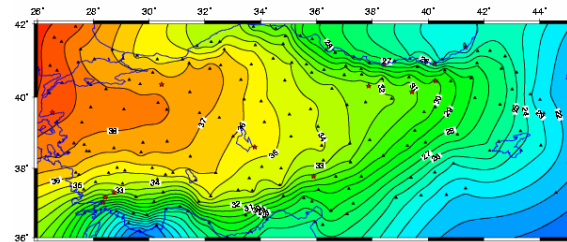


Şekil 1. TG-91 Jeoid Modeli (m)

1.2 GPS/Nivelman Jeoidi

Gravimetrik jeoid modeli (TG91)’de mevcut uzun dalga boylu etkiler nedeniyle TG91 kullanılarak elde edilen ortometrik yüksekliklerle, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA)’na dayalı olarak geometrik nivelman ölçümü ile hesaplanan ortometrik yükseklikler birbiri ile uyumlu değildir. Aralarında birkaç metreye çıkan farklar bulunmaktadır. Bu nedenle GPS elipsoid yüksekliği ve TG91 jeoid yüksekliğinden elde edilen ortometrik yüksekliklerin ulusal yükseklik sistemi (TUDKA) ile uyumlu olması için aralarındaki farklar modellenmelidir. Bu amaçla GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri belirlenmiştir.

GPS/nivelman jeoid yüksekliklerini belirlemek için; Türkiye içinde uygun dağılımda, jeoidin hızlı değiştiği bölgelerde daha sık olmak üzere, 197 TUTGA-99 noktası seçilmiş ve geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) ‘na bağlanmıştır. Böylece söz konusu 197 noktanın TUTGA-99 koordinat sisteminde elipsoid yükseklikleri ile TUDKA-99 datumunda ortometrik yükseklikleri belirlenmiş ve Türkiye GPS/Nivelman jeoidi belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. GPS/Nivelman jeoid modeli (m)

1.3 Düzenlenmiş Türkiye Jeoidi - 1999A (TG-99A)

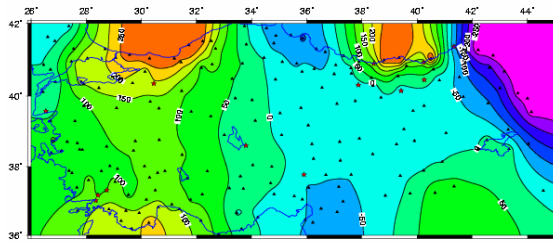
TG-91 ile GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmesi, GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen noktalarda, TG-91 jeoid yükseklikleri ile

GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri arasındaki farkların hesaplanarak bu farkların modellendirilmesi ve herhangi bir noktada farkların interpolasyonu esasına dayanmaktadır.

Bu amaçla GPS/Nivelman jeoid yüksekliği bilinen 197 noktada, noktaların TG-91 jeoid yükseklikleri (NTG91); TG-91 grid kütüğünden kestirilmiş ve

$$\delta N = N_{TG91} - N_{GPS} \quad (1)$$

ile ortak noktadaki jeoid yükseklik farkları, δN , hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. TG-91 – GPS/Nivelman Jeoid Yükseklik Farkları (Ölçüler) (cm)

Hesaplanan bu farklar (δN), 3ncü dereceden iki boyutlu bir polinom (10 parametrelili) ile modellendirilmiştir.

$$t_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i + a_6 x_i^3 + a_7 y_i^3 + a_8 x_i^2 y_i + a_9 x_i y_i^2 \quad (2)$$

Burada;

t_i : i noktasındaki trend değeri

a_j : bilinmeyen parametreler [$j = 0, n-1$; parametre sayısı ($n=10$)],

$\varphi_0 = 0^\circ$ ve $\lambda_0 = 0^\circ$ olmak üzere x_i ve y_i ;

$$x_i = \lambda_i - \lambda_0 \quad (3a)$$

$$y_i = \varphi_i - \varphi_0 \quad (3b)$$

ile tanımlıdır. Yukarıda verilen modelde 1 parametrelili çözüm ortalama düzlem, 4 parametrelili çözüm bilineer yüzey, 6 parametrelili çözüm kuadratik yüzey ve 10 parametrelili çözüm 3ncü dereceden bir polinom göstermektedir. TG-99A'nın belirlenmesinde (2) eşitliğine göre 1, 4, 6 ve 10 parametrelili çözüm en küçük karelerle dengeleme yapılarak gerçekleştirilmiş, her noktada hesaplanan trend fark ölçülerinden çıkarılmış ve

$$dN_i = \delta N_i - t_i \quad (4)$$

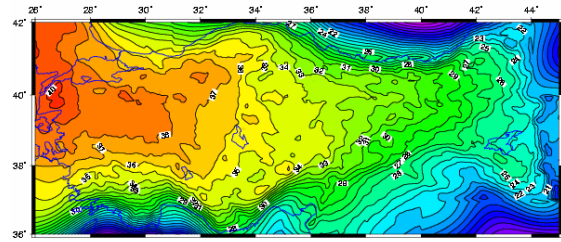
eşitliği ile artık ölçüler (dN) hesaplanmıştır.

Artık ölçüler bir yüzey geçirilerek EKKK yöntemi ile modellendirilmiştir. Bu modellemede; Generic Mapping Tools (GMT) paket yazılımında uygulanan ayarlanabilir sürekli eğimli yüzey gridleme algoritması kullanılarak ($3' \times 3'$) grid köşelerinde artık ölçüler hesaplanmıştır (Smith and Wessel, 1990).

Herhangi bir noktadaki TG-99A jeoid yükseklik değeri (NTG99A) bilinen TG-91 jeoid yüksekliği (NTG91), trend değeri (t) ve artık ölçü (dN) toplanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$N_{TG99A} = N_{TG91} + t + dN \quad (5)$$

TG-91 jeoid yükseklikleri, trend değerleri ve artık ölçü değerleri (5) eşitliğinde verildiği gibi toplanarak sonuç TG-99A hesaplanabilir. (Şekil 4).



Şekil 4. Düzenlenmiş Türkiye Jeoidi - 1999 (TG-99A) (m)

Sonuç olarak, TG-99A gravimetrik jeoid (TG-91) ile GPS/Nivelman jeoidinin birleştirilmiş halidir ve GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için

$$N = h - H \quad (6)$$

eşitliğinde doğrudan kullanılabilir (Ayhan v.d., 2002) (Kılıçoğlu, 2002) (Ayhan ve Kılıçoğlu, 1996).

2 Uygulama

Büyük Ölçekli Haritaların Üretim Yönetmeliği (BÖHÜY) taslağında GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için yöntemler açıklanmaktadır. Bu amaç için mevcut Güncelleştirilmiş Türkiye

Jeoidi – 1999A veya yerel GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerinin kullanılması önerilmektedir.

BÖHÜY'e göre ortometrik yüksekliklerin hesabında jeoid modelinin kullanılması için önerilen yöntemler aşağıdadır.

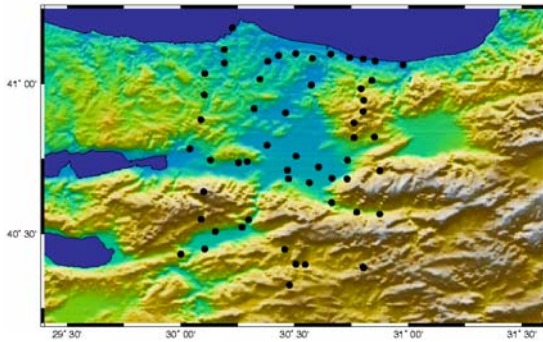
- TG99A jeoidinin doğrudan kullanılması,
- TG99A jeoid modelinin yerel GPS/Nivelman jeoid ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması,
- Bazvektörlerinde elipsoid ve TG99A jeoid yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi,
- Yerel GPS/Nivelman jeoid modelinin oluşturulması.

Yukarıda verilen yöntemler Şekil 5'de verilen test bölgesinde uygulanmıştır.

Ortometrik yüksekliklerin jeoid modelden elde edilmesi için öngörülen yöntemler, Şekil 5'te verilen ve yaklaşık 40.3° – 41.2° enlemleri ile 30.0° - 31.0° boylamları arasında kalan bir pilot bölgede uygulanarak uygulamaya yönelik sonuçlar araştırılmıştır.

Bölgede TUTGA datumunda elipsoid yükseklikleri GPS ile ve TUDKA datumunda ortometrik yükseklikleri geometrik nivelman ile belirlenen 56 adet GPS/Nivelman noktası bulunmaktadır (Şekil 5). Bu noktalardan 9 adedi hesaplamalarda dayanak noktası olarak (Şekil 6), kalan 47 ise hesap sonuçlarını kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Dayanak noktaları olabildiğince homojen sıklık ve dağılımda seçilmiştir.

Test bölgesinde 47 kontrol noktasının ortometrik yüksekliği BÖHÜY taslağında önerilen yöntemlerle hesaplanmış ve geometrik nivelman ile belirlenenlerle karşılaştırılmıştır. Uygulanan yöntemler ve sayısal sonuçlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır.



Şekil 5. Çalışma bölgesi, topoğrafyası ve uygulamada kullanılan noktalar

2.1 TG99A jeoidinin doğrudan kullanılması

Bu yöntemde ağ noktalarında jeoid yükseklikleri (NTG99A); ülke jeoid modelinden (TG-99A) doğrudan interpolasyon yapılarak elde edilir ve (6) eşitliğinde yerine konularak ortometrik yükseklikler hesaplanır.

Uygulama bölgesindeki 56 noktanın jeoid yükseklikleri, grid köşelerinde bilinen TG-99A değerlerinden yararlı ağırlıklı ortalama yöntemiyle kestirilmiştir. Noktaların ortometrik yükseklikleri (6) eşitliğinden hesaplanmış ve noktaların nivelman ile bulunan ortometrik yükseklikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. TG99A jeoidinin doğrudan kullanılması (c) ve geometrik nivelmanla hesaplanan (o) ortometrik yükseklikler arasındaki farklar (c-o).

Nokta Sayısı	56
Minimum (m)	-0.80
Maksimum (m)	0.35
Ortalama (m)	-0.21
Standart Sapma (m)	± 0.26

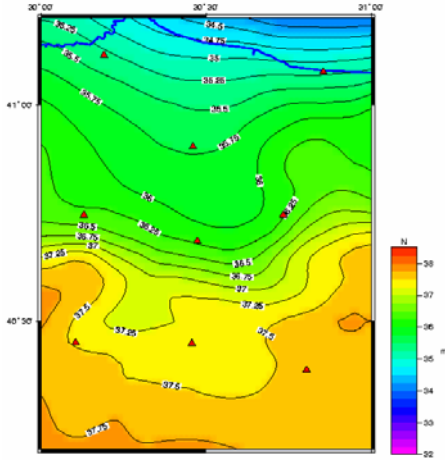
2.2 TG99A jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirerek kullanılması

TG99A'nın güncelleştirilerek yerel güncelleştirilmiş jeoidin (MAR99A) elde edilmesinde, 9 adet dayanak noktasında GPS/Niv jeoid yükseklikleri ile TG99A jeoid yükseklikleri arasındaki farklardan (δN) önce trend yüzeyi (t) hesaplanarak çıkarılmış, artık ölçüler (dN) ise sürekli eğrilikli yüzey gridleme algoritması ile modellenmiştir. Böylece herhangi bir noktadaki Güncelleştirilmiş TG99A jeoid yüksekliği (MAR99A) ;

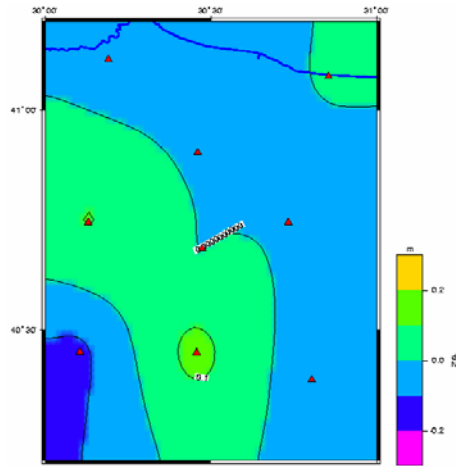
$$N_{MAR99A} = N_{TG99A} + t + dN \quad (7)$$

ile hesaplanmıştır. Böylece yeni hesaplanan jeoid modelinin bölge içinde ve dışında TG99A modeli ile uyum içerisinde olması sağlanmıştır (Kılıçoğlu, 2002). TG99A jeoid modeli Türkiye Gravimetrik Jeoidi (TG-91)'in GPS/Niv. Jeoid modeli ile birleştirilmesi ile elde edilmiş olup topoğrafyanın kısa dalga boylu etkilerini de içermektedir. Belirlenen yerel güncelleştirilmiş jeoid Şekil 6'da, 47 kontrol noktasının yerel güncelleştirilmiş jeoidden hesaplanan ortometrik yükseklikleri ile nivelmanla bulunan yükseklikleri

arasındaki farklar Şekil 7’de ve düzeltmelerin istatistiği Tablo 2’de verilmektedir.



Şekil 6. Yerel güncelleştirilmiş jeoid(MAR99A)



Şekil 7. Yerel güncelleştirilmiş jeoidden hesaplanan ortometrik yüksekliklere gelen düzeltmeler

Tablo 2. TG99A jeoidinin yerel güncelleştirilmesi (c) ve geometrik nivelmanla belirlenen (o) ortometrik yükseklikler arasındaki farklar (c-o).

Nokta Sayısı	47
Minimum (m)	-0.03
Maksimum (m)	0.03
Ortalama (m)	0.00
Standart Sapma (m)	± 0.01

2.3 Bazvektörlerinde elipsoid ve jeoid yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi

Bu yöntem, ağda seçilen bazvektörlerinde ortometrik yükseklik farklarının belirlenmesi ve bunların ölçü olarak alınarak dengelenmesidir. Her iki ucunda da GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir bazvektöründe ortometrik yükseklik farkı;

$$\Delta H_{ij} = (h_j - h_i) - (N_j - N_i) \quad (8a)$$

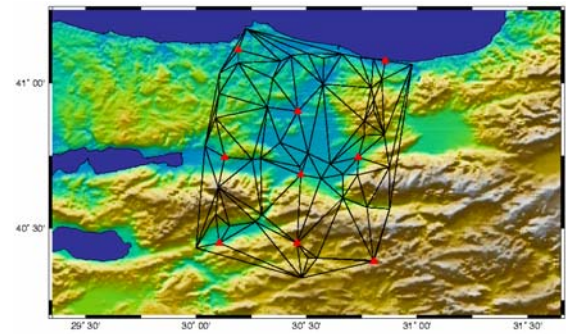
veya

$$\Delta H_{ij} = \Delta h_{ij} - \Delta N_{ij} \quad (8b)$$

ile hesaplanabilir (Mainville,1992). Burada;

ΔH_{ij} : Bazvektörünün i ve j noktaları arasındaki ortometrik yükseklik farkı,
 h_i, h_j : i ve j noktalarında elipsoid yüksekliği,
 N_i, N_j : i ve j noktalarında interpolasyonla hesaplanan TG99A (MAR99A) jeoid yüksekliğidir.

Nivelman ağı dengelenmesinde; hesaplanan ortometrik yükseklik farkları ölçü ve geometrik nivelman ölçüleriyle hesaplanan GPS/Nivelman noktalarının ortometrik yükseklikleri bilinen olarak alınır. Bu çalışmada, ortometrik yükseklik farklarının hesabında kullanılan jeoid yükseklikleri TG-99A ve MAR99A jeoidinden hesaplanarak iki farklı uygulama yapılmıştır. Uygulamada 9 nokta dayanak noktası (bilinen) olarak alınmış ve 47 noktanın ortometrik yükseklikleri hesaplanmıştır. (Şekil 8) İki farklı şekilde hesaplanan ortometrik yükseklik farkları Tablo 3’te verilmektedir.



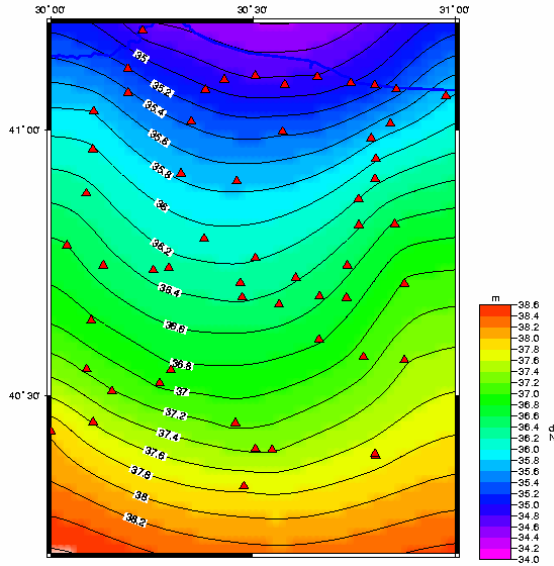
Şekil 8. Oluşturulan nivelman ağı, dayanak noktaları (kırmızı üçgen) ve hesap noktaları

Tablo 3. Jeoid yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi (c) ve geometrik nivelmanla (o) bulunan ortometrik yükseklikler arasındaki farklar (c-o).

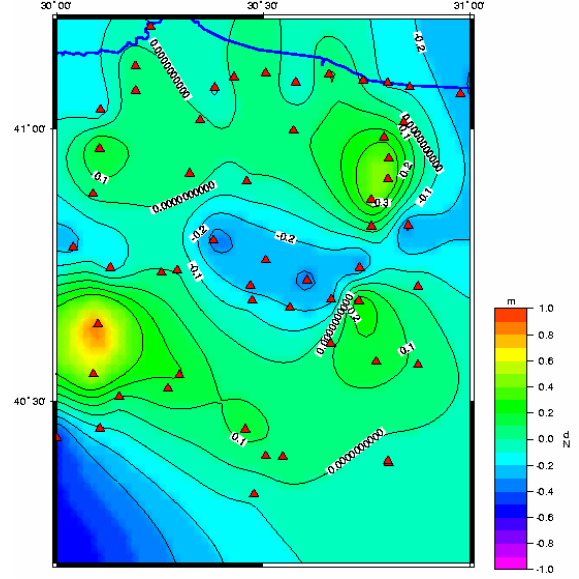
	N TG99A	N MAR99A
Nokta Sayısı	47	47
Minimum (m)	-0.62	-0.04
Maksimum (m)	0.47	0.03
Ortalama (m)	0.00	0.00
Standart Sapma (m)	± 0.24	± 0.02

2.4 Yerel GPS/Nivelman jeoid modelinin oluşturulması

Bu yöntemde çalışma bölgesindeki 56 adet GPS noktasının TUTGA99A datumunda elipsoid yüksekliklerine ek olarak Helmert Ortometrik Yükseklikleri geometrik nivelman ölçüleri ile TUDKA99'a bağlı olarak hesaplanmıştır. Böylece 56 noktada GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ($N=h-H$) elde edilmiştir. Dayanak noktalarında belirli GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerine bir matematik yüzey uydurularak bölge için jeoid yükseklikleri modellendirilebilir (Kılıçoğlu, 1995) (Kılıçoğlu, 2002) (Ayhan ve Kılıçoğlu, 1995) (Ayhan ve Kılıçoğlu, 1996). Belirlenen yerel GPS/Nivelman jeoid modeli Şekil 9'da, yerel jeoidden belirlenen ortometrik yüksekliklere gelen düzeltmeler Şekil 10 ve düzeltmelerin istatistiği Tablo 4'te verilmektedir.



Şekil 9. Yerel jeoid



Şekil 10. Yerel jeoid düzeltmeleri

Tablo 4. Yerel GPS/Nivelman jeoidi kullanılarak (c) ve geometrik nivelmanla (o) bulunan ortometrik yükseklikler arasındaki farklar (c-o).

Nokta Sayısı	56
Minimum (m)	-0.88
Maksimum (m)	0.48
Ortalama (m)	-0.01
Standart Sapma (m)	± 0.24

3 Sonuç ve Öneriler

Elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi için TG99A ve yerel GPS/Nivelman jeoidinin kullanılmasıyla ilgili sayısal uygulamalar BÖHÜY'de önerilen yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Her uygulamada kontrol amacıyla belirlenen GPS/Nivelman noktalarında hesaplanan ortometrik yükseklikler (hesap), geometrik nivelman ölçüleriyle belirlenen ulusal yükseklik sisteminde TUDKA datumuna dayalı ortometrik yüksekliklerle (ölçü) karşılaştırılmış ve istatistikleri yukarıda verilmektedir.

TG99A jeoidinin doğrudan kullanılması yönteminde 56 GPS/niv noktasında hesaplanan yükseklikler ölçülen yükseklikler arasındaki farkların standart sapması 26 cm olarak belirlenmiş olup bölgede TG99A jeoidinin büyük ölçekli harita üretimi için doğrudan kullanılmayacağı değerlendirilmektedir.

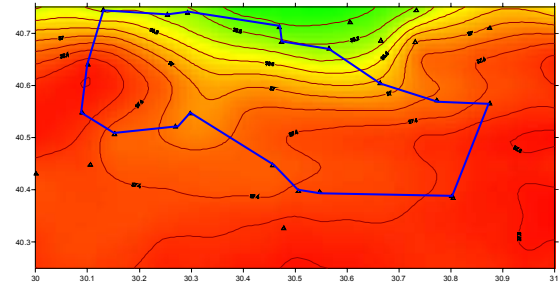
TG99A jeoidinin 9 GPS/niv dayanak noktası ile yerel güncelleştirilmesi ile elde edilen MAR99A jeoidinin doğrudan kullanılmasıyla hesaplanan ortometrik yüksekliklerle ölçülen yükseklikler arasındaki farkların standart sapması 1 cm olarak belirlenmiştir. Burada; bölgedeki toplam 56 GPS/Niv. noktasından yalnızca 9 adedinin dayanak noktası olarak kullanıldığına dikkate edilmelidir. Bu sonuçlardan TG99A jeoid modelinin yerel güncelleştirilmesi ile elde edilen MAR99A jeoidinin doğrudan kullanılabilmesi anlaşılmaktadır.

Ağ noktaları arasında seçilen bazvektörlerinde belirlenen ortometrik yükseklik farklarının ölçü olarak kabul edilmesi ve 9 GPS/nivelman dayanak noktasının ortometrik yüksekliğinin sabit alınması ile yapılan nivelman ağ dengesiyle hesaplanan ortometrik yüksekliklerle ölçülenler arasındaki farklar incelenmiştir. Bu amaçla TG99A ve MAR99A kullanılarak iki ayrı dengeleme yapılmıştır. Sonuçlardan, MAR99A jeoidinin söz konusu yöntemle ortometrik yüksekliklerin belirlenmesinde kullanılabilmesi (St Sp.:2 cm), ancak farkların standart sapmasının 24 cm olarak bulunması sebebiyle TG99A jeoidinin kullanılmasının uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bu yöntemde TG99A jeoidi ile mutlak jeoidin kısa bazlarda paralel olduğu varsayılmaktadır. Özellikle TG99A jeoidinin hızlı değiştiği Kuzey-Güney doğrultusundaki bazvektörlerinin uzun olması nedeniyle farkların büyük olduğu değerlendirilmektedir.

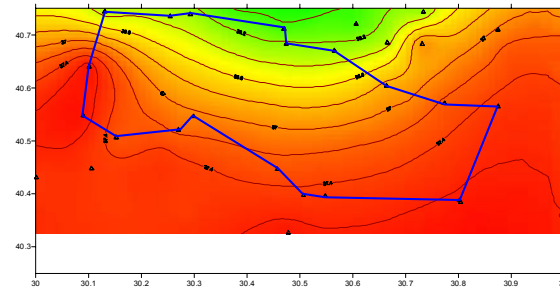
56 noktada mevcut GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerine bir yüzey geçirilmesi ile belirlenen yerel GPS/niv jeoidi kullanılarak hesaplanan ortometrik yüksekliklerle ölçülenler arasındaki farkların standart sapması 24 cm olarak bulunmuş olup test bölgesinde büyük ölçekli harita üretimi çalışmasında kullanılmasının uygun olmadığı değerlendirilmektedir. Bu yöntemin daha çok küçük ve düz arazilerde kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Bölgenin topoğrafyası ve dayanak noktalarının dağılımı Şekil 5'te verilmektedir. Dayanak noktalarının özellikle dağlık bölgelerde uygun dağılımda olmadığı değerlendirilmektedir. Özellikle dağlık bölgelerde nivelman ölçüsünün güç olması nedeniyle dayanak noktalarının uygun dağılımını sağlamak pratikte olanaklı olmamakta ve bu nedenle bölgede büyük boşluklar oluşmaktadır.

Yerel güncelleştirilmiş TG99A (MAR99A) ile yerel GPS/jeoidi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma özellikle GPS/Nivelman noktalarının uygun dağılım ve sıklıkta elde edilemediği Şekil 11'de verilen dağlık bölgede yapılmıştır. Test

bölgesinin, her iki jeoid modeli arasındaki farkların fazla olduğu ve dayanak nokta sıklığının az olduğu, dağlık bir kesimde MAR99A jeoidi (Şekil 11), Yerel GPS/Niv jeoidi (Şekil 12), MAR99A-YEREL farkı (Şekil 13) ve bölgenin topoğrafyası (Şekil 14) incelenmiştir. Test bölgesinin Güney-Doğu'unda seçilen dağlık kesim ve dayanak noktaları şekillerde poligon şeklinde gösterilmiştir. Toplam 18 dayanak noktası ile çevrelenen bölge yaklaşık olarak 70kmx40 km büyüklüğünde olup dayanak noktaları arasındaki boşluk yaklaşık 20-25 km kadardır. Dayanak noktaları arasındaki boşlukta jeoidin eğimi ve değişimi Yerel GPS/Niv jeoidinde doğrusal olarak hesaba katılmakta olup MAR99A jeoid modelinde topoğrafyanın etkisi doğrudan hesaba katılmış durumdadır.



Şekil 11. Seçilen dağlık kesimde MAR99A jeoid modeli



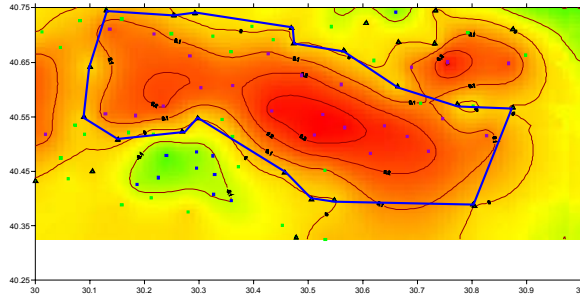
Şekil 12. Seçilen dağlık kesimde yerel GPS/Niv jeoid modeli

Şekil 11 ve Şekil 12'den görüldüğü gibi seçilen dayanak noktaları poligonu içinde değişim Yerel GPS/Niv jeoidinde yaklaşık doğrusal olmakla birlikte MAR99A jeoid modelinde doğrusal değildir. Bu kesimdeki jeoid değişimi 1 m civarındadır. 18 dayanak noktası ile gösterilen poligon içerisinde kalan ağ noktası sayısı 34 olup bu noktalarda hesaplanan MAR99A-YEREL jeoid yükseklik farkları Şekil 13'te verilmektedir.

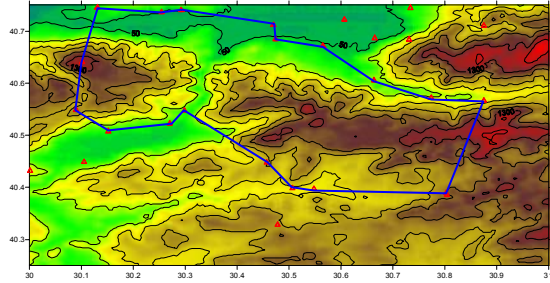
Şekil 13'ten görüldüğü gibi dayanak noktalarının oluşturduğu kenarlar boyunca jeoid

yükseklik farkları 0.0 m civarında olup dayanak noktalarından uzaklaştıkça ve poligonun iç bölgelerinde bu farklar 35 cm'ye kadar çıkmaktadır.

Aynı bölgenin topoğrafik yapısı 450mx450m grid aralıklı sayısal arazi modelinden yararlı çizdirilmiş olup Şekil 14'de gösterilmektedir. Şekil 13 ve Şekil 14'den görüldüğü gibi poligon içerisinde hesaplanan farklarla uyumlu ve doğudan batıya uzanan ve yüksekliği 1300m ile 50 m arasında değişen bir sırt bulunmaktadır. Poligon içerisindeki bu yükselti ile uyumlu değişim yerel GPS/Niv jeoidinde görülmemekte buna karşılık MAR99A modelinde topoğrafyanın değişimi ile uyumlu jeoid değişimi izlenmektedir.



Şekil 13. Seçilen dağlık kesimde MAR99A-Yerel GPS/Niv. Farkları



Şekil 14. Seçilen dağlık kesimde topoğrafya

Sonuç olarak mevcut gravimetrik Türkiye Jeoidi – 1999A (TG99A) büyük ölçekli harita üretiminde yerel güncelleştirilerek kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Yeni Türkiye Jeoidi – 2003 (TG-03) hesap çalışmaları devam etmekte olup 2003 yılı sonuna dek tamamlanması planlanmaktadır. Her tür ve ölçekte harita üretiminde elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi için Türkiye'nin tamamında TG-03 jeoidinin kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- Ayhan, M.E. (1992) Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91), Harita Dergisi, Sayı 108, s. 1-17, Ankara.
- Ayhan, M.E. (1993) Geoid determination in Turkey (TG-91). Bull. Geod., Vol. 167, No. 1, pp. 10-22.
- Ayhan, M.E., Demir C., Lenk O., Kılıçoğlu A., Aktuğ B., Açıköz M., Fırat O., Şengün Y.S., Cingöz A., Gürdal M.A., Kurt A.İ., Ocak M., Türker A., Yıldız H., Bayazıt N., Ata M., Çağlar Y., Özerkan A. (2002) Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı – 1999A (TUTGA-99A), Harita Dergisi, Özel Sayı 16, Ankara.
- Ayhan, M.E., Kılıçoğlu A. (1995) Global Konumlama Sistemi (GPS) Bazvektörlerinin Benzerlik ve Afin Dönüşümü ile Üç Boyutta Sıklaştırılması, Türk Haritacılığının Yüzüncü Yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri Bildiri Kitabı, s.307-320, Ankara.
- Ayhan, M.E., Kılıçoğlu A. (1996) GPS network densification in Ankara GPS test network, Bollettino Di Geodesia E Scienze Affini, vol.1.
- Kılıçoğlu, A. (1995) Jeodezide Dönüşümler. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıçoğlu, A. (2002) Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi – 1999A (TG99A), TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Teknik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı (Baskıda), İznik
- Mainville A., Forsberg R., Sideris M.G. (1992) Global positioning sistem testing of geoids computed from geopotential models and local gravity data : A case study. JGR, vol.97, no. B7, pp.1137-11147.
- Smith, W. H. F, P.Wessel (1990) Gridding with continuous curvature splines in tension, Geophysics, 55, 293-305, 1990.