

**JEOİT KULLANARAK ELİPSOİT YÜKSEKLİKLERİNDEN ORTOMETRİK
YÜKSEKLİK BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN DOĞRULUK ARAŞTIRMASI**
(ACCURACY INVESTIGATION OF THE METHODS OF DETERMINING
ORTHOMETRIC HEIGHTS FROM ELLIPSOIDAL HEIGHTS
BY USING GEOID)

Ersin AKİZ¹, Mehmet YERCI²

¹Harita Genel Komutanlığı, Ankara

²Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya
ersin.akiz@hgk.mil.tr

ÖZET

GPS ile jeodezik amaçlı konum belirlemede nokta yükseklikleri, WGS84 referans elipsoidi üzerinde belirlenir. Ancak çoğu mühendislik çalışmalarında elipsoit yükseklikleri yerine jeode göre tanımlanan ortometrik yüksekliklere gereksinim duyulur.

Mühendislik uygulamalarında GPS kullanımının artışıyla birlikte, büyük ölçekli haritaların üretimine ilişkin Yönetmeliğin değiştirilmesi ve GPS kullanımına uygun hale getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Yeni Yönetmelik, GPS'in diğer uygulamaları yanında ortometrik yüksekliklerin elde edilmesi için uygulanacak ölçü ve hesap yöntemlerini de içermektedir.

Yeni Yönetmelik ile elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için dört yöntem verilmektedir. Bu yöntemler; mevcut jeoit modelinin doğrudan kullanılması, mevcut jeoit modelinin yerel GPS/Nivelman noktaları ile güncelleştirilerek kullanılması, GPS baz vektörlerinde ortometrik yükseklik farkları hesaplanarak bunların GPS/Nivelman ağ dengelemesi şeklinde dengelenmesi ve son olarak mevcut jeoit modelini kullanmadan yerel GPS/Nivelman noktalarına dayanan bir yerel jeoit modelinin belirlenmesi ve doğrudan kullanılmasıdır.

Bu çalışmada, mevcut Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03) modeli kullanılarak GPS ile elde edilen elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması açıklanmakta ve çeşitli uygulamalar verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeoit, elipsoit yüksekliği, ortometrik yükseklik, GPS.

ABSTRACT

In point positioning with GPS for geodetic purposes, the point heights are determined on the WGS84 reference ellipsoid. However, in many engineering applications, orthometric heights which are defined with respect to the geoid, are required instead of ellipsoidal heights.

With the increase of GPS usage in engineering applications, the bylaw on the large scale map production is required to be changed and to be suitable for GPS usage. Besides the other GPS applications, the new bylaw contains observation and

calculation methods for obtaining orthometric heights.

In the new bylaw, four methods are given for computing orthometric heights from ellipsoidal heights. These methods are; using existing geoid model directly, using existing geoid model by updating it with the local GPS/Leveling points, calculating orthometric height differences on the GPS base vectors and adjusting these values through a GPS/Leveling network adjustment and finally determination of a local GPS/Leveling geoid based on the GPS/Leveling points and using it directly.

In this study, computing orthometric heights from GPS derived ellipsoidal heights by using existing Turkish Geoid-2003 (TG-03) model is explained and some applications are given.

Key Words: Geoid, ellipsoidal height, orthometric height, GPS.

1. GİRİŞ

GPS tekniğinin uygulanmasındaki artışa paralel olarak büyük ölçekli haritaların üretimine ilişkin 31.01.1988 tarih ve 19711 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe konulan Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğinin değiştirilmesi ve GPS kullanımına uygun hale getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Bakanlıklararası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu tarafından düzenlenen ve 15 Temmuz 2005 tarih ve 25876 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren yeni Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHY) GPS'in diğer uygulamalar yanında ortometrik yüksekliklerin elde edilmesi için uygulanacak ölçü ve hesap yöntemlerini de içermektedir.

GPS tekniği ile jeodezik amaçlı konum belirlemede, nokta yükseklikleri WGS84 sisteminin referans elipsoidine dayalı olarak belirlenir. Ancak, birçok jeodezik ve mühendislik uygulamalarında elipsoit yükseklikleri yerine jeoide göre tanımlanan ortometrik yüksekliklere gereksinim duyulmaktadır.

Geometrik nivelman, zaman ve işgücü gerektiren bir ölçme tekniği olması nedeniyle günümüzde birçok uygulamada ortometrik yüksekliklerin elde edilmesinde en uygun çözüm olarak değerlendirilemez.

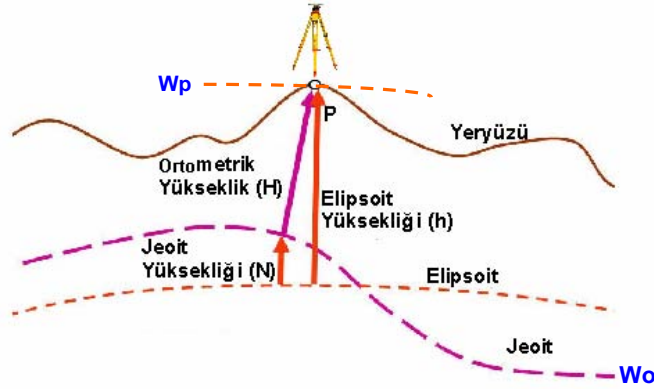
2005 tarihinde yürürlüğe giren BÖHHY ile elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklere dönüşüm için dört temel yöntem önerilmektedir. Bu yöntemler;

- Mevcut jeoit modelinin doğrudan kullanılması,
- Mevcut jeoit modelinin yerel GPS/Nivelman noktaları ile güncelleştirilerek kullanılması,
- GPS baz vektörlerinde ortometrik yükseklik farkları hesaplanarak GPS/Nivelman ağ dengelemesi yapılması,

- Mevcut jeoit modelini kullanmadan yerel GPS/Nivelman noktalarına dayanan bir yerel jeoit modelinin belirlenmesi ve doğrudan kullanılmasıdır.

2. ORTOMETRİK ve ELİPSOİT YÜKSEKLİĞİ

Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliğinden, nokta ile bir başlangıç yüzeyi (genellikle jeoit) arasındaki uzaklık anlaşılır. Bu çalışmanın konusu olan ortometrik ve elipsoit yükseklikler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Ortometrik ve elipsoit yüksekliği.

Uygulamada, geometrik ve nivelman ölçülerine dayalı olarak hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılır. Elipsoit yüksekliği (h), GPS ölçüleri ile üç boyutlu yer merkezli bir koordinat sisteminde seçilen başlangıç elipsoidine göre belirlenmekte olup, elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasında,

$$h = H + N \quad (1)$$

eşitliği ile bilinen bir ilişki vardır. Burada N jeoit yüksekliği, jeoit ile elipsoit arasındaki uzaklıktır. Elipsoit yüksekliği tamamen geometrik bir değer olup yerin gerçek gravite alanı ile ilgili olmayıp fiziksel bir değer taşımaz.

Noktaların ya da noktalardan geçen nivo yüzeylerinin jeoide göre durumları jeoit ile bu yüzeyler arasındaki potansiyel farklar yardımıyla belirtilebilir. Bu farklar jeopotansiyel sayılar (C) olarak adlandırılır.

$$C = W_o - W = \int_{\text{jeoit}}^{\text{nokta}} g \, dn \quad (2)$$

eşitliği ile elde edilir.

Burada; g yeryüzünde ölçülen gerçek gravite ve dn diferansiyel geometrik yükseklik farkıdır.

C'nin birimi (g.p.u.) jeopotansiyel birim,

1 g.p.u. = 1 kgal m = 1000 gal m şeklinde tanımlanır.

$g \approx 0.98$ kgal olduğundan,

$C \approx gH \approx 0.98H$,

yazılabilir ve g.p.u. ile tanımlanan jeopotansiyel sayılar yaklaşık olarak metre cinsinden deniz yüzeyinden olan yüksekliğe eşittir.

Çekül eğrilerinin yeryüzü noktaları ile jeoit arasında kalan parçalarının yay uzunlukları, yüksekliklerin geometrik anlamda bir tanımıdır. Bu tür yüksekliklere ortometrik yükseklik (H) adı verilir. C, g.p.u.; g, kgal ve H km cinsinden olmak üzere,

$$H = \frac{C}{g + 0.0424 H} \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilir. Burada g, P yeryüzü noktasında ölçülen gerçek gravite değeridir (Heiskanen ve Moritz 1967).

3. TÜRKİYE'DE JEOİT BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Türkiye'de jeoit belirleme çalışmaları 1976 yılında başlamış olup halen sürmektedir. (Ayan, 1978) tarafından yapılan ilk çalışmalarda 98 astronomi noktasındaki çekül sapması bileşenleri kullanılmıştır.

Özellikle uydu teknolojilerinin gelişmesiyle (Ayhan v.d.,1987) tarafından Güney Batı Anadolu Doppler Jeoidi hesaplanmıştır. Bilgisayar olanaklarının artması ve ölçü sayılarının çoğalması ile 1991 yılında gravite, topoğrafya ve global jeopotansiyel model kullanılarak tüm Türkiye için gravimetrik jeoid (TG-91) En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemi ile hesaplanmıştır (Ayhan, 1992).

Daha sonra, 184 noktada belirli TRANSIT Doppler elipsoit yükseklikleri ve ortometrik yükseklikler ile Türkiye Doppler Jeoidi (TDJ-92), 200 noktada çekül sapması bileşenleriyle ve astrogravimetrik nivelman yöntemi ile Türkiye Astrojeodezik Jeoidi (TAG-94) hesaplanmıştır (Ayhan ve Alp, 1994).

a. Türkiye Jeoidi – 1991 (TG-91)

TG-91 gravimetrik jeoidi, Türkiye'de ilk kez çok sık heterojen veri kullanılarak hesaplanan ve topoğrafya ve gravitenin kısa ve çok kısa boylu etkilerini de içeren bir jeoit modeli olması nedeniyle önemlidir (Kılıçoğlu, 2002).

TG-91'in belirlenmesinde, Türkiye'deki gravite ölçüleri ile geliştirilen GPM2-T1 yer potansiyel katsayıları, Ulusal Gravite Kütüğüne kayıtlı düzenlenmiş Potsdam gravite datumundaki 3-5 km sıklıkta 62.250 nokta gravite ölçüsü ile sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır.

TG-91; yer potansiyel modeli, topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin "kaldır-yerine koy" (remove-restore) tekniği kullanılarak EKKK yöntemi ile değerlendirilmesi ile GRS-80 elipsoidine göre belirlenmiştir. $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ boyutlu alt bölgelerde, $3' \times 3'$ grid köşelerinde GEOCOL yazılımı kullanılarak jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ alt bölgeler birleştirilerek tüm Türkiye için TG-91 jeoit yükseklikleri grid kütüğü oluşturulmuştur. Enlem ve boylamı bilinen herhangi bir noktada jeoit yüksekliği prediksyonu için değişik yöntem ve yazılımlar mevcuttur (Ayhan, 2002).

b. Düzenlenmiş Türkiye Jeoidi-1999A (TG-99A)

TG-99A, TG-91 ve ülke geneline dağılmış GPS-Nivelman verilerinin birleştirilmesi ile elde edilen bütünleşik bir çözümdür (Kılıçoğlu, 2002). Burada, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99A)'na ait 197 noktanın üç boyutlu yer merkezli koordinat sistemi olan ITRF-96'da, GRS80 başlangıç elipsoidine göre elipsoit yükseklikleri ve Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA99)'ndan taşınan Helmert ortometrik yükseklikleri kullanılmıştır.

TG-91 jeoit yükseklikleri $3' \times 3'$ grid köşelerinde hesaplanmıştır. Gravimetrik ve geometrik jeoit yükseklikleri arasındaki farklar 3'üncü dereceden bir polinom yardımıyla modellenmiştir. Trend değerinden arındırılmış büyüklükler EKKK yöntemiyle artık ölçülerin kestirilmesinde kullanılmıştır.

TG-99A yaklaşık ± 10 cm iç duyarlığa ve ± 15 cm doğruluğa sahip olup orta ve küçük ölçekli coğrafi materyal üretiminde doğrudan kullanılabilir (Kılıçoğlu, 2002).

c. Türkiye Jeoidi - 2003 (TG-03)

Ortometrik yüksekliklerin GPS/Nivelman yöntemi ile belirlenebilmesi için, global jeosentrik datuma dayalı bir jeoit modeline ihtiyaç duyulmuştur. Kullanılan veriler; yüzey nokta gravite anomalileri, ERS1, ERS2 ve TOPEX/POSEIDON altimetre verilerinden elde edilen gravite anomalileri, GPS/nivelman jeoit yükseklikleri ve topoğrafik yüksekliklerden oluşmaktadır.

Türkiye sınırları dışında yüzey gravite değeri mevcut olmadığından kullanılamamış, topoğrafik yükseklikler 30 sn (~ 1 km) aralıklı global topografya verisinden (GTOPO30) alınmıştır. Topoğrafyanın artık yerey modeli (RTM) etkisi yüksek çözünürlüklü 450×450 m aralıklı sayısal arazi modeli (SAM450m) kullanılarak hesaplanmıştır. GPS elipsoit yükseklikleri ile uyumlu sonuç jeoidin hesabında Türkiye'ye düzgün dağılmış GPS/Nivelman yükseklikleri kullanılmıştır.

GPS/Nivelman noktalarının elipsoit yükseklikleri, ITRF96'da tanımlı TUTGA-99A ve ortometrik yükseklikler, başlangıç yüzeyi Antalya ortalama deniz seviyesi olan

TUDKA-99'a dayalıdır.

Bu çalışmada esas olarak jeoit yükseklikleri yerine, yükseklik anomalisi hesaplanmış olup, uygulamada kullanılmak üzere 197 noktada GPS/Nivelman ile elde edilen yükseklik, anomalileriyle birleştirildikten sonra jeoit yüksekliğine dönüştürülmüştür.

Jeoit yükseklikleri TG91'de olduğu gibi 3'x3' grid köşelerinde "kaldır-yerine koy" (remove-restore) tekniği kullanılarak EKKK yöntemi ile belirlenmiştir. Burada global yer potansiyel modeli olarak Yer Potansiyel Modeli-1996 (Earth Geopotential Model-1996, EGM96) kullanılmıştır. 197 noktanın GPS/Nivelman verileri gravimetrik jeoit ile birleştirilerek ITRF-96'da, GRS80 başlangıç elipsoidine göre yeni ulusal jeoit modeli TG-03 belirlenmiştir.

Ölçü noktalarında yapılan testte TG-03'ün iç doğruluğu ± 1 cm bulunmuştur. Ayrıca hesaplamalarda kullanılmamış olan 106 GPS/nivelman noktasında yapılan test sonucunda; jeoidin dış doğruluğu, veri dağılımı ve yoğunluğuna göre değişmek üzere, ± 10 cm içerisinde bulunmuştur (Kılıçoğlu, vd., 2005).

4. UYGULAMA

BÖHHY, GPS yardımıyla elde edilen elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanmasında Türkiye Jeoidi TG99A ve yerel GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerinin kullanılmasını öngörmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Referans noktaları için Yönetmelik ölçütleri ve jeoit modelleri.

Jeoit Modeli	Referans Noktaları İçin Yönetmelik Ölçütleri	
	Nokta/km ²	Uyuşum testi Ağ derecesi
Mevcut TG99A'nın Kullanılması	4 nokta / 200 km ² *	$\Delta H_{[mm]} \leq 12 \text{ mm } S_{[km]}^{**}$
Yerel GPS/Nivelman Jeoit Hesabı	6 nokta / 20 km ² ***	$N_{\text{GPS/Nivelman}}$ uyuşumu yüksekliklerin doğrulukları dikkate alınarak test edilir. $1 - \alpha = 0.95$ alınır ve uyuşum doğruluğu (σ) ± 5 cm den daha iyi olmalıdır.

* TG99A modelinin çalışma alanında kontrolü ve iyileştirilmesi için 200 km² ye kadar en az dört nokta ve buna ek olarak her 200 km² ye bir nokta olacak şekilde uygun dağılmış noktalar belirlenir.

** ΔH [mm], yüksekliği bilinen noktalar arasındaki Helmert ortometrik yükseklik farkı ile GPS ve TG99A'dan bulunacak Helmert ortometrik yükseklik farkı arasındaki farktır. S, km biriminde nivelman yolunun uzunluğudur.

*** Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin hesaplanması için en az nokta yoğunluğu; 20 km² ye kadar 6 nokta ve bundan sonraki her 15 km² ye 1 nokta olmalıdır.

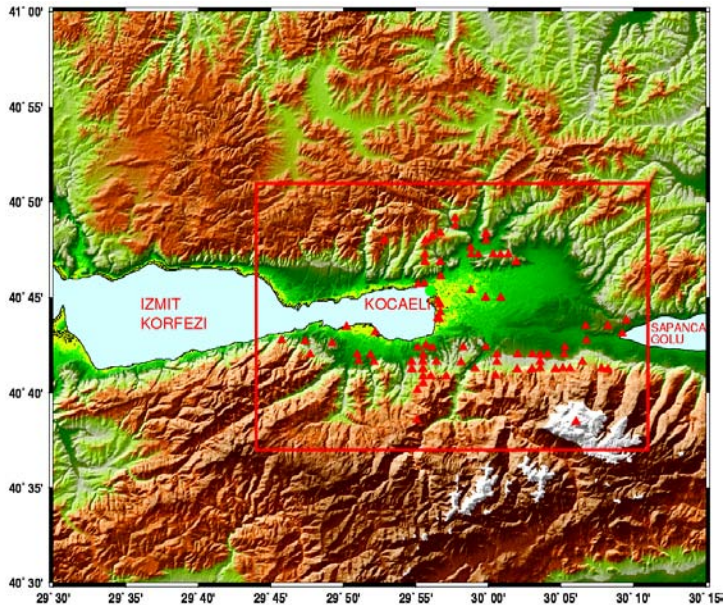
Bu çalışmada yeni ve daha fazla veriyi içeren bir jeoit modeli olarak hesaplanmış TG-03 ile hesaplamalarda GRAVSOF (Tscherning vd., 1994) ve Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel ve Smith, 1998) yazılım paketleri kullanılmıştır.

GPS yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerinin üretilmesinde mevcut TG99A jeoit modelinin kullanılması durumunda, yeni noktaların Helmert ortometrik yükseklikleri;

- Noktalar arası, elipsoit yükseklik farkları Δh ve jeoit yükseklik farkları ΔN olmak üzere; $\Delta H = \Delta h - \Delta N$ ortometrik yükseklik farkları bir nivelman ağı dengelemesinde ölçü alınarak ve ortometrik yükseklikleri nivelman ile elde edilmiş olan noktalara dayalı dengeleme hesabı ile,

- GPS/Nivelman dayanak noktalarında $N = h - H$ temel ifadesine göre hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Nivelman}$) ile TG99A jeoit yükseklikleri (N_{TG99A}) arasındaki farkların ($\delta N = N_{GPS/Nivelman} - N_{TG99A}$) analitik bir eşitlik ile düzeltme yüzeyi olarak modellenmesi ve yeni noktalarda hesaplanan δN düzeltme değerlerinin TG99A jeoit yüksekliği değerine eklenerek $H = h - (N_{TG99A} + \delta N)$ ifadesi ile hesaplanabilir.

Jeoit modellerinden ortometrik yüksekliklerin elde edilmesi için belirtilen yöntemler, Şekil 2'de gösterilen $29^{\circ} 44' - 30^{\circ} 14'$ boylamları ile $40^{\circ} 36' - 40^{\circ} 49'$ enlemleri arasındaki 900 km^2 'lik alanı kapsayan test bölgesinde araştırılmıştır.



Şekil 2. Test bölgesi, topografyası ve uygulamada kullanılan noktalar.

Test bölgesinde TUDKA datumunda ortometrik yükseklikleri ve TUTGA datumunda elipsoit yükseklikleri hesaplanmış 83 adet GPS/Nivelman noktası seçilmiştir.

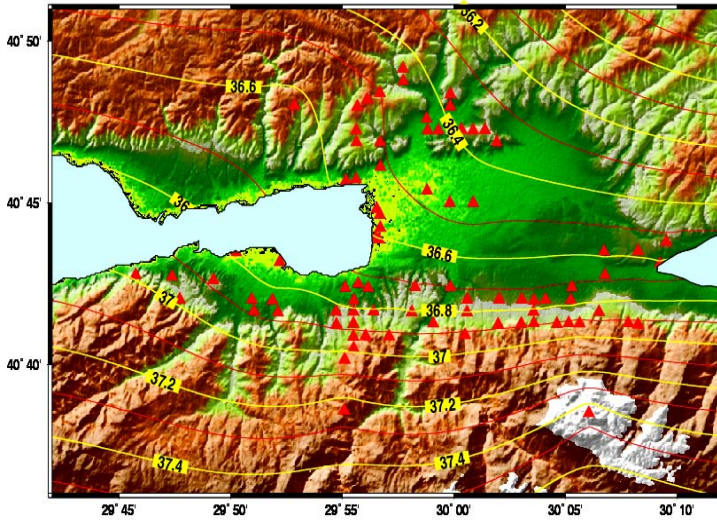
Noktaların ortometrik yükseklikleri Yönetmelikte belirtilen ve aşağıda alt maddelerde açıklanan yöntemlerle hesaplanmıştır.

Her aşamada elde edilen ortometrik yükseklikler, geometrik nivelman ile bulunan ortometrik yükseklikler ile karşılaştırılmıştır ve karşılaştırma sonuçları Sonuçlar Bölümünde sunulmuştur.

a. Mevcut Jeoidin (TG-03) Doğrudan Kullanılması

Bu yöntemde test bölgesindeki 83 adet noktanın jeoit yükseklikleri (N_{TG-03}) ülke jeoit modelinden (TG-03) enterpolasyonla elde edilmiştir. (4) eşitliğinden yararlanılarak ortometrik yükseklikler bulunmuştur. Gravimetrik jeoit yükseklikleri Şekil 3'de gösterilmektedir.

$$H = h - N \quad (4)$$



Şekil 3. Gravimetrik jeoit (N_{TG-03}) yükseklikleri.

b. Gravimetrik Jeoit'in (TG-03) Yerel GPS/Nivelman Jeoit Ölçüleriyle Güncelleştirilerek Kullanılması

Helmert ortometrik ve elipsoit yüksekliği bilinen dayanak noktalarında; $N=h-H$ eşitliği ile hesaplanan jeoit yükseklikleri ile TG-03 jeoit yükseklikleri (N_{TG-03}) arasındaki farklar uygun bir yüzey ile modellendirilir. TG-03 jeoit düzeltmesi (δN) bütün noktalarda belirlenir ve Helmert ortometrik yüksekliği;

$$H = h - (N_{TG-03} + \delta N) \quad (5)$$

eşitliği ile doğrudan hesaplanır.

Bu yöntem gravimetrik jeoit modelin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması şeklinde de ifade edilebilmektedir. Dayanak noktalarında GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri ile TG-03 jeoit yükseklikleri arasındaki farklardan (δN) önce trend yüzeyi (t) hesaplanarak çıkarılır ve

$$dN = \delta N - t \quad (6)$$

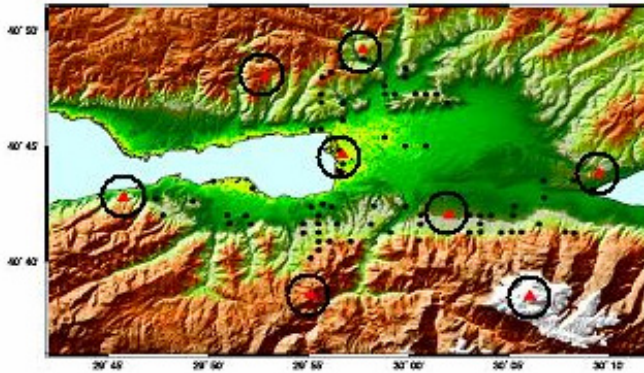
ile artık ölçüler (dN) hesaplanır. Böylece herhangi bir noktadaki güncelleştirilmiş jeoit yüksekliği (İZMİT-03);

$$N_{İZMİT-03} = N_{TG-03} + dN + t \quad (7)$$

ile hesaplanır.

(1) Test Bölgesinde Yerel Güncelleştirmenin Uygulanması

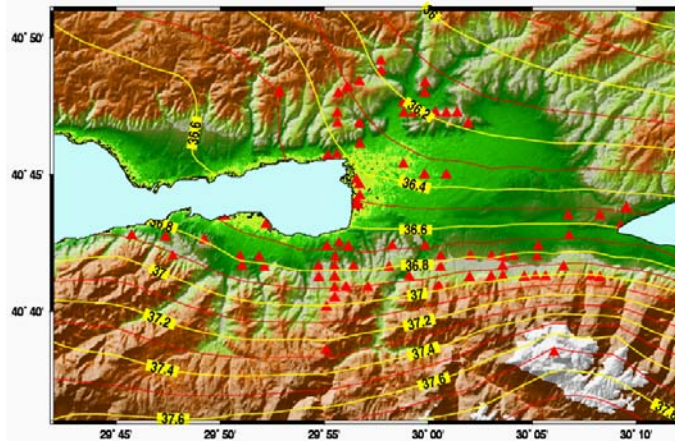
Bu uygulamada Şekil 4'de gösterilen 900 km² alana sahip test bölgesine uygun dağılmış 8 adet dayanak noktası ile yerel güncelleştirme yapılmış ve 83 adet hesap noktası ile kontrol edilmiştir.



Şekil 4. Test bölgesindeki hesap (siyah) ve 8 adet dayanak noktası (kırmızı).

TG-03 jeoit yükseklikleri ile 8 dayanak noktasının oluşturduğu GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri arasındaki farklar iki boyutlu ve 10 parametrelili üçüncü dereceden bir polinom ile modellendirilmiştir. Her noktada hesaplanan trend değeri fark ($N_{TG-03} - N_{GPS/Nivelman}$) değerinden çıkarılmış ve artık değerler bulunmuştur.

Güncelleştirilmiş jeoit yüksekliği $N_{İZMİT-03}$, bilinen TG-03 jeoit yüksekliği (N_{TG-03}), trend değeri (t) ve artık ölçü (dN) toplanarak elde edilmiştir. Elde edilen güncelleştirilmiş TG-03 jeoidi Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. Güncelleştirilmiş TG-03 Jeoidi

c. Baz Vektörlerinde Elipsoit ve Jeoit Yükseklik Farklarından Elde Edilen Ortometrik Yükseklik Farklarının Bir Nivelman Ağı Şeklinde Dengelenmesi

Bu yöntem, ağda seçilen baz vektörlerinde ortometrik yükseklik farklarının belirlenmesi ve bunların ölçü olarak alınarak Helmert ortometrik yüksekliği bilinen noktalara dayalı dengelenmesidir. Her iki ucunda da GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir baz vektöründe ortometrik yükseklik farkı;

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

veya

$$\Delta H_{ij} = \Delta h_{ij} - \Delta N_{ij}$$

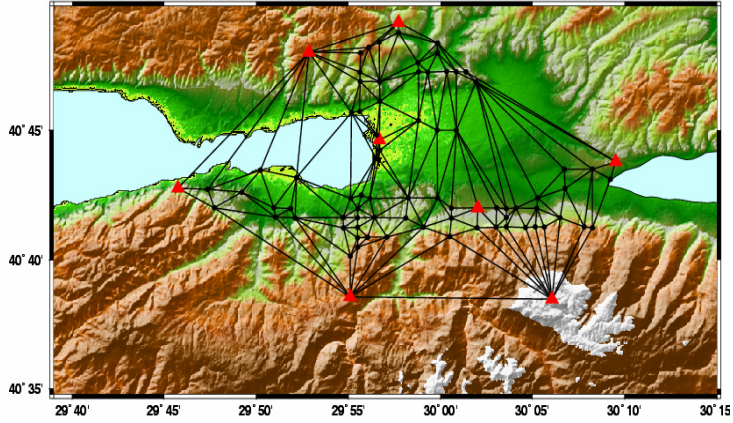
ile hesaplanabilir (Mainville, vd., 1992). Burada;

ΔH_{ij} : Baz vektörünün i ve j noktaları arasındaki ortometrik yükseklik farkı.

H_i, h_j : i ve j noktalarındaki elipsoit yüksekliği.

N_i, N_j : i ve j noktalarında enterpolasyonla hesaplanan jeoit yüksekliğidir.

Nivelman ağ dengelenmesinde; hesaplanan ortometrik yükseklik farkları ölçü ve geometrik nivelman ölçüleriyle hesaplanan GPS/Nivelman noktalarının ortometrik yükseklikleri bilinen olarak alınır (Kılıçoğlu, 2002). Bu çalışmada, 8 nokta dayanak noktası (bilinen) olarak alınmış ve 75 noktanın ortometrik yükseklikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Fortran Programlama Dilinde hazırlanmış VCNA.f programı kullanılmıştır (Kılıçoğlu, 2000). Ortometrik yükseklik farklarının hesabında kullanılan jeoit yükseklikleri, TG-03 ve yerel güncelleştirilmiş jeoit modellerinden hesaplanarak iki ayrı uygulama yapılmıştır. Dengelemede sabit alınan 8 nokta ve oluşturulan üçgenleme Şekil 6'da gösterilmiştir.

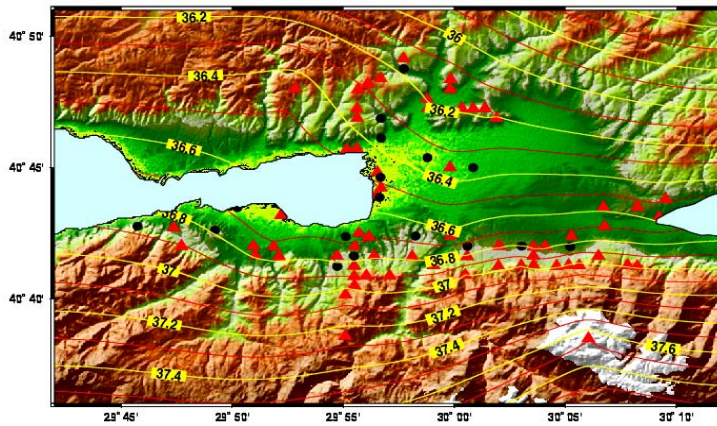


Şekil 6. Dengelemede sabit alınan 8 nokta ve oluşturulan üçgenleme.

ç. Yerel GPS Nivelman Jeodinin Oluşturulması ve Kullanılması

BÖHHY'ye göre sıklaştırma alanını kaplayacak biçimde, elipsoit yükseklikleri (h) GPS ile, Helmert ortometrik yükseklikleri (H) geometrik nivelman ile belirlenen bir "Jeoit Dayanak Noktaları Ağı" oluşturulur. Jeoit dayanak noktalarının oluşturulmasında yukarıda adı geçen Yönetmelik'te 42'nci madde esasları dikkate alınmıştır.

Bu esaslar kapsamında 900 km²'lik test bölgesinde 65 adet jeoit dayanak noktasında GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Dayanak noktalarında belirli GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerine bir matematik yüzey uydurularak uygulama bölgesi için jeoit yükseklikleri modellendirilebilir (Kılıçoğlu, 2002). Geriye kalan 18 nokta kontrol amacıyla kullanılmıştır. Yerel GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri, 65 adet jeoit dayanak noktası, 18 kontrol noktası Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Yerel GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri, 65 adet jeoit dayanak noktası (kırmızı), 18 kontrol noktası (siyah)

GPS/Nivelman jeoidi oluşturulduktan sonra kontrol amacıyla kullanılan 18 adet noktaya ait GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri enterpolasyonla hesaplanmıştır. Daha sonra bu kontrol noktalarının herbirinde ($H=h-N_{\text{GPS/Nivelman}}$) formülü kullanılarak ortometrik yükseklikler hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR

Elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi için TG-03 ve yerel GPS/Nivelman jeoidinin kullanılması ile ilgili sayısal uygulamalar BÖHHY’de önerilen yöntemler ile test bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen ortometrik yükseklikler, geometrik nivelman ile bulunan ortometrik yükseklikler ile karşılaştırılmış ve sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Uygulama sonuçlarının karşılaştırılması.

Kullanılan Yöntemler	H (nivelman) – H (hesap)				
	Doğrudan TG-03	Yerel Güncelleştirilmiş Jeoit	(N) Farklarının Nivelman Ağı Biçiminde Dengelenmesi		Yerel Jeoit
			$N_{\text{TG-03}}$	$N_{\text{İZMİR}}$	
Nokta Sayısı	83	8+75	8+75		18+65
Minimum (m)	-0.24	-0.07	-0.08	-0.07	-0.05
Maksimum (m)	0.29	0.07	0.19	0.07	0.07
Ortalama (m)	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00
Standart Sapma (m)	±0.11	±0.03	±0.06	±0.03	±0.04

Mevcut TG-03 jeoidinin doğrudan kullanılması yönteminde 83 GPS/Nivelman noktasında hesaplanan yükseklikler ile ölçülen yükseklikler arasındaki farkların standart sapması ± 11 cm olarak belirlenmiş olup TG-03 jeoidinin büyük ölçekli harita üretimi için doğrudan kullanılmasının uygun olmayacağı değerlendirilmektedir.

TG-03 jeoidinin 8 GPS/Nivelman dayanak noktası ile yerel güncelleştirilmesi ile elde edilen jeoidin kullanılması ile hesaplanan ortometrik yükseklikler ile geometrik nivelman ile ölçülen ortometrik yükseklikler arasındaki farkların standart sapması ± 3 cm olarak belirlenmiştir. Bölgede 83 noktadan 8 tanesi dayanak noktası olarak kullanıldığı dikkate alınırsa, TG-03 jeoid modelinin yerel güncelleştirilmesi ile doğrudan kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Ağ noktaları arasında seçilen baz vektörlerinde belirlenen ortometrik yükseklik farklarının ölçü olarak kabul edilmesi ve 8 GPS/Nivelman

dayanak noktasının ortometrik yüksekliğinin sabit alınması ile yapılan nivelman ağ dengelemesiyle hesaplanan ortometrik yükseklikler ile ölçülenler arasındaki farklar incelenmiştir. Bu amaçla, TG-03 ve yerel güncelleştirilmiş gravimetrik jeoit kullanılarak iki ayrı dengeleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, yerel güncelleştirilmiş jeoit kullanılarak yapılan dengelemede farkların standart sapmasının ± 3 cm, TG-03 gravimetrik jeoidi kullanılarak yapılan dengelemede ise standart sapmanın ± 6 cm olduğu görülmüştür.

Test bölgesinde 65 adet jeoit dayanak noktasında GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve daha sonra bu jeoit yüksekliklerine bir matematik yüzey oluşturularak uygulama bölgesi için yerel GPS/Nivelman jeoidi belirlenmiştir. Ortometrik yükseklikler arasındaki farkların standart sapmasının ± 4 cm olması nedeniyle test bölgesinde ortometrik yükseklik belirlemede kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Ayan, T., 1978, Türkiye Jeoidi, *Harita Dergisi*, **85**, s.5-17.

Ayhan, M.E., 1992, Türkiye Jeoidi - 1991 (TG-91), *Harita Dergisi*, **108**, s.1-17.

Ayhan, M.E., Alp O., 1994, Türkiye Astrojeodezik Jeoidi – 1994 (TAG-94), *İç Rapor, No. Jeof-94-2*, Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 2005, <http://www.hgk.tsk.mevzuat/yonetmelikler4.asp> (02.02.2006).

Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967, *Physical Geodesy*, W.H. Freeman and Company, San Francisco.

Kılıçoğlu, A., 2000, Düşey Kontrol Ağı Dengeleme Programı (VCNA.f), Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Kılıçoğlu, A., 2002, Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi -1999A (TG99A), TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı, İznik.

Kılıçoğlu, A., Demir, C., Fırat, O., 2005, Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'nin Hesabında Kullanılan Ölçüler ve Yöntemler, TUJK Jeoit ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, s.53-76.

Mainville, A., Forsberg, R., Sideris M., 1992, Global Positioning System Testing of Geoids Computed from Geopotential Models and Local Gravity Data, A Case Study, *JGR*, **97-B7**, s. 1137-1147.

Tscherning, C.C., Knudsen, P., Forsberg R., 1994, Description of the GRAVSOFT Package, Geophysical Institute, University of Copenhagen.

Wessel, P., Smith, W. H. F., 1998, New, improved version of GMT.