

## **EGM96 JEOPOTANSİYEL MODELİ, TG99 TÜRKİYE JEODİ VE GPS/NİVELMAN İLE ELDE EDİLEN JEODİ ONDÜLASYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Bayram TURGUT, Cevat İNAL, Cemal Özer YİĞİT

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği  
Bölümü, 42031 Kampüs KONYA, email: bturgut@selcuk.edu.tr

**Özet:** *Bu çalışmada Türkiye’de enlemleri 39° 38’ 52’’.971 ile 40° 05’ 39’’.267 arasında, boylamları 32° 25’ 06’’.386 ile 32° 56’ 55’’.204 arasında olan yaklaşık 1700 km lik bir alanda, 75 adet noktanın NASA, NIMA ve Ohio State Üniversitesi tarafından geliştirilen EGM96 Jeopotansiyel Modeli ile elde edilen jeoit ondülasyonları ile, Türkiye’de Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı tarafından hesaplanan ve geliştirilen Türkiye Jeoidi TG99 ile elde edilen jeoit ondülasyonları ve GPS/Nivelman tekniği ile elde edilen jeoit ondülasyonları karşılaştırılmıştır.*

*Bu karşılaştırma sonucunda EGM96 ve GPS/Nivelman tekniği ile elde edilen ondülasyonlar arasında -12.8 cm ile 61.3 cm ; TG99 ve GPS/Nivelman tekniği ile elde edilen ondülasyonlar arasında -17.2 cm ile 18.2 cm arasında ondülasyon farkları hesaplanmıştır.*

### **1. GİRİŞ**

Yeterli sayıda, hesaplanmış jeopotansiyel katsayılarından oluşan jeopotansiyel modeller jeoit ondülasyonlarının hesaplanmalarında önemli yer tutuklarından jeodezi açısından önemlidir. Uydu altimetresinden elde edilen ve yeryüzünde ölçülen gravite değerleri jeopotansiyel modellerde jeopotansiyel katsayıların elde edilmesinde verileri oluştururlar. Jeopotansiyel modeller; harmonik katsayılar seti, uydu takip istasyonlarının jeosentrik koordinatları ve jeode en iyi uyan referans elipsoidinin ekvatorial yarıçapından oluşur. Global küresel harmonikler, gravite anomalileri ve çekül sapmaları gibi bölgeye ait yersel verilerle birleştirilir [Bursa, Radej ve ark., 1997 ]

EGM96 Jeopotansiyel modeli NASA, NIMA ve Ohio State Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model sayesinde WGS84 datumunda enlem ve boylamı bilinen bir noktanın jeoit ondülasyonu F477.F programı ile hesaplanabilmektedir. [<http://164.214.2.59/GandG/wgs-84/egm96.html>].

Türkiye mutlak jeoidi TG99 ise Türkiye için Harita Genel Komutanlığı tarafından geliştirilmiştir. Bunun amacı GPS gözlemlerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçişi sağlamaktır. Bu amaçla MATLAB 5.3 yazılımının "Grafik Kullanım Arayüzü-Graphical User Interface (GUI)" araç kiti kullanılarak GPS gözlemlerinden ortometrik yükseklik hesaplayan bir program geliştirilmiştir. Bu program sayesinde herhangi bir noktanın GPS ile belirlenen enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliği bilindiğinde noktanın ortometrik yüksekliği, dolayısıyla jeoit ondülasyonu hesaplanabilmektedir [Yıldırım, 2000].

Bu çalışmada WGS84 datumunda enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliği bilinen noktanın jeoit ondülasyonu, EGM96 jeopotansiyel modeli ve Türkiye Mutlak Jeoidi

TG99'a göre hesaplanmıştır. Elde edilen ondülasyon değerleri GPS/Nivelman ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

## 2. YERYUVARININ GRAVİTASYONEL MODELİ 1996 (EGM96)

ABD de Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA), Goddard Uzay Uçuş Merkezi (GSFC), Ulusal Görüntü İşleme ve Haritacılık Ajansı (NIMA) ve Ohio State Üniversitesi (OSU), yeryuvarının çekim potansiyelinin 360 derece ve sırada geliştirilmiş küresel harmonik modeli üretmek amacıyla işbirliği yapmışlardır.

Yeni model, Yeryuvarı Gravitasyonel Modeli 1996 (EGM96) eski Sovyet Rusya, Güney Amerika, Afrika, Çin, Grönland gibi alanlardaki yeni ölçümleri de kapsayan öncekilere göre daha çok sayıda yüzey gravite verisini, ERS-I ve GEOSAT ile elde edilen altimetre türetilmiş gravite anomalilerini, Uydu Lazer Ölçümü (SLR), Global Konumlama Sistemi (GPS), NASA'nın Takip ve Veri Aktarım Uydu Sistemi (TDRSS), Fransız DORIS Sistemi ve Birleşik Devletler (US) Donanması TRANET Doppler Takip Sisteminden elde edilen yeni verileri, ayrıca TOPEX/POSEIDON (T/P), ERS-I ve GEOSAT'dan elde edilen doğrudan altimetre ölçüsünü içeren kapsamlı uydu izleme verisini birleştirmektedir.

Sonuç çözüm; 70 dereceye kadar olan düşük dereceli bir kombinasyon modelinin, 71'den 359 dereceye kadar bir blok-diyagonal çözümün ve 360. derecede bir küresel çözümün sentezidir. Model, bir metreden daha iyi bir doğrulukla jeoit ondülasyonlarını hesaplamak ve Dünya Jeodezik Sistemi 1984'ü (WGS84) gerçek bir üç boyutlu referans sistemi olarak tamamlamakta kullanılmaktadır. EGM96'dan elde edilen öteki sonuçlar, T/P ve ERS-I'den birlikte ve GEOSAT'dan ayrı olarak elde edilen 20 dereceye kadar dinamik okyanus topoğrafyasını ve dünya yörüngeli uydular için gelişmiş yörünge tesbitini içerir. EGM96 jeopotansiyel modeli Dünya Yükseklik Sistemi için bir referans yüzeyi sağlayacak, GPS ile jeodezik konumlamanın ve okyanus jeoit modelinin gelişimi ile okyanus sirkülasyonu gibi oşinografik çalışmaların, kara ve deniz haritacılığının ihtiyaçlarını karşılayacaktır. [Lemonie ve ark 1998]

Model değerlendirmede kullanılan testler dört gruba ayrılabilir:

- 1- Uydu takip verisi (özellikle SLR serisi) kullanılan yörüngesel testler.
- 2- GPS/Nivelman verisi kullanan testler.
- 3- Uydu altimetre yüksekliğini ve bir okyanus sirkülasyonu (deniz yüzeyi topoğrafyası) modelinden türetilmiş dinamik okyanus topoğrafyası (DOT) modeli kullanan testler.
- 4- Altimetre yüksekliğinden türetilmiş gravite anomalilerini kullanan testler.

EGM96 üç tane kombinasyon jeopotansiyel modeli ile tanımlanır.

- 1- PGS7337B: 70 derecelik "direkt" takip formundaki altimetre verisini birleştiren kapsamlı kombinasyon model.

2- V068: 360 derecelik sayısal karesel kombinasyon model.

3- HDM190: 359 derecelik blok-diyagonal kombinasyon model.

Ortak projenin asıl amacı 360 derecelik bir kombinasyon model geliştirmektir. Yukarıdaki üç modelden sadece V068 bu amacı karşılayabilecek özelliğe sahiptir. EGM96'yı 360 dereceye kadar tamamlayabilmek için band genişliklerinin ortak bölümünde rölatif performanslarını ve ilaveten farklı çözümlerden "kes-yapıştır" yöntemiyle oluşturulan modellerin performanslarını dikkate almak gereklidir.

Gerçekleştirilen artık yörünge testlerinin sonuçları, PGS7337B modelinin test edilen SLR uydularının çoğu için en iyi yörünge modelleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Bununla beraber hem V068 hem de HDM190' ın yörünge modelleme performansı PGS7337B' nin performansı ile karşılaştırılabilir seviyededir.

Ohio State Üniversitesinde gerçekleştirilen GPS/Nivelman testlerinde PGS7337B/HDM190 karma modeli, V068 ve HDM190 modellerinden daha iyi sonuç vermiştir.

Altimetre verisi ve okyanus sirkülasyonu modeli ile gerçekleştirilen karşılaştırmalar yardımıyla aday modellerin değerlendirilmesi, aday modeller arasında belirgin bir ayırım sağlamıştır. Bu testler göstermiştir ki en yüksek okyanus jeoit ondülasyon doğruluğu sağlamak için altimetre verisi "direkt" altimetre formunda birleştirilmelidir. PGS7337B "direkt" altimetre içeren tek aday model olduğu için EGM96' nın 70 derecelik parçası PGS7337B katsayıları ile tanımlanmıştır. n=71' den 359' a kadar olan EGM96 katsayıları HDM190' dan, n=360 daki EGM96 katsayıları V068 den elde edilmiştir.

### 3. TÜRKİYE MUTLAK JEOİDİ TG99

Türkiye'de jeoit belirleme çalışmalarının geçmişi oldukça kısadır. Astro-Jeodezik Jeoidi çekül sapmalarından hesaplamak amacıyla iki çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda kullanılan çekül sapmaları heterojen olup, yeterli sayı sıklıkta olmadığından belirlenen jeoitler güncel ihtiyaçları karşılamaktan uzaktır. Doppler çalışmaları ile birlikte nivelman noktalarında yapılan doppler ölçülerinden yararlanarak doppler jeoidini belirleme çalışmaları yapılmıştır[Ayhan vd,1987]. Ancak doğruluğun yeterli olmaması nedeniyle doppler jeoidi belirleme çalışmalarına ara verilmiştir. 80'li yılların sonuna doğru duyarlı jeoit belirlemek için veri toplama ve düzenleme çalışmalarına başlanıp hız verilmiş ve Türkiye Jeoidi 1991(TG91) belirlenmiştir.

Türkiye Jeoidi 1991 (TG-91) adı ile bilinen gravimetrik jeoit, GPM2-T1 yer potansiyel katsayıları, topoğrafik yükseklikler ve gravite ölçüleri değerlendirilerek hesaplanmıştır. [Ayhan, 1992; 1993] Mevcut yer potansiyel modellerinin oluşturulmasında Türkiye' deki gravite ölçüleri kullanılmadığından, GPM2 yer potansiyel modeli Türkiye' deki gravite ölçüleri ile geliştirilip GPM2-T1 modeli oluşturulmuştur. Harita Genel Komutanlığı tarafından hazırlanmış olan Ulusal Gravite Kütüğü (UGK) düzenlenmiş Postdam gravite datumunda, 34°30'-42°30' enlem ve 25°30'-45°00' boylamları arasında

kalan bölgede 3-5 km. sıklıkla 62250 nokta gravite ölçüsünü kapsamaktadır. Komşu ülkeler ile deniz gravite ölçüleri UGK' da yoktur.

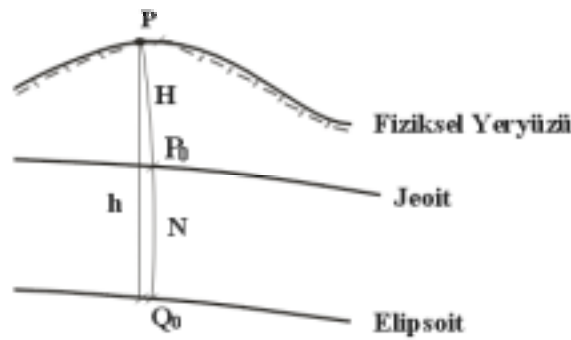
Topoğrafik yükseklik olarak Türkiye ve yakın çevresindeki kara alanlarını kapsayan bölgede 15''x20'' (450x450m) grid köşelerinde yükseklikler 1/25000 ölçekli haritalar üzerinden sayısallaştırılmış ayrıca topoğrafik indirgemelerde kullanılmak amacıyla 5'x5', 15'x15' ve 30'x30' lık ortalama yükseklikler hesaplanmıştır.

Türkiye Jeoidi 1991 (TG-91); bu üç verinin En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemiyle değerlendirilmesi ile GRS-80 elipsodine göre belirlenmiştir. EKKK yönteminin tercih edilmesinin en önemli nedeni; elde mevcut yerpotansiyeli küresel harmonik katsayıları, gravite ve yükseklik değerlerini topluca değerlendirmeye uygun olmasıdır[Moritz,1980;Tscherning,1984]. 1°x1° boyutlu alt bölgelerde Jeoit çözümleri GEOCOL yazılımı [Tscherning, 1984] ile yapılmış ve bu çözümler birleştirilerek 3'x3' grid köşelerinde TG-91 değeri bilinen bir grid veri oluşturmuştur. Enlemi ve boylamı bilinen herhangi bir noktada TG91 Jeoit Yüksekliği 3'x3' grid veriden yararlanarak interpolate edilebilmektedir.

1991 yılında Jeodezi Dairesi Başkanlığınca 3'x3' grid aralığında hesaplanan Türkiye'nin gravimetrik Jeoidi TG-91' de mevcut olan uzun dalga boylu etkilerin GPS/Nivelman noktalarındaki farkları modellenmesi suretiyle Türkiye Mutlak Jeoit TG99 3'x3' grid sıklığında hesaplanmıştır [Yıldırım,2000].

#### 4. GPS/NİVELMAN

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların elipsoidal yükseklikleri hesaplanır. Bilindiği üzere GPS ile belirlenen elipsoidal yükseklikler ile nivelman ile belirlenen ortometrik yükseklikler ve jeoit ondülasyonları arasında aşağıdaki ilişki vardır. [Liddle, 1989; Ollikainen, 1997]



Şekil 1: Elipsoidal yükseklik(h), Ortometrik yükseklik(H) ve Jeoit ondülasyonu(N) arasındaki ilişki[Dodson and Hanson,1995]

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

N : Geometrik jeoit ondülasyonu.

h : GPS ile belirlenen elipsoidal yükseklik.

H : Nivelman ile belirlenen ortometrik yükseklik.

## 5. JEOPOTANSİYEL MODEL KATSAYILARI YARDIMIYLA JEOİT ONDÜLASYONUNUN BELİRLENMESİ

Fiziksel yeryüzünde herhangi bir P noktasının gerçek gravite potansiyeli(W), dönül elipsoidin potansiyeli(U) ve bunlar arasındaki fark yani bozucu potansiyel  $T(r, \theta, \lambda)$  ile gösterilirse;

$$T(r, \theta, \lambda) = W(r, \theta, \lambda) - U(r, \theta, \lambda) \quad (2)$$

yazılabilir. W ve U küresel harmonik serilere açılırsa;

$$T(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} Y_{nm}(\theta, \lambda) \quad (3)$$

$r, \theta, \lambda$  : Jeosentrik yarıçap vektörü, kutup uzaklığı, jeosentrik boylam

a : Ekvatorial yarıçap

$C_{nm}$  : Gerçek normal çekim potansiyeli katsayıları

$$Y_{nm}(\theta, \lambda) : \begin{cases} P_{nm} \zeta \cos \theta \cos m\lambda & m \geq 0 \\ P_{nm} \zeta \cos \theta \sin m\lambda & m < 0 \end{cases}$$

$P_{nm}$  : 1.tür Legendre fonksiyonu

(3) eşitliğindeki sıfır derece terimi dünyanın kütesinin referans elipsoidinin kütesine eşit olduğu varsayımıyla sıfır kabul edilir. Ayrıca (3) denklemindeki kuşak katsayıları, gerçek ve normal çekim potansiyellerinin katsayıları arasındaki farkı göstermektedir.

Genelleştirilmiş Bruns formülüne dayanarak,

$$\zeta_p = \frac{T_p - (W_0 - U_0)}{\gamma_p} \quad (4)$$

$\zeta_p$  : P noktasının yükseklik anomalisi

$U_0$  : Referans elipsoidinin çekim potansiyeli

$\gamma_p$  : P noktasındaki normal gravite

elde edilir[Heiskanen ve Moritz,1967].  $T_p$  , P noktasındaki bozucu potansiyeldir. Bozucu potansiyelin sıfıncı derece terimi  $T_0$  ve ötekiler  $T'_p$  ile gösterilirse,

$$T_p = T_0 + T'_p \quad (5)$$

olur. Bu durumda,

$$T_0 = \frac{GM - GM_0}{r} \quad (6)$$

$GM$  : Güncel (Dünyanın Jeosentrik Gravitasyonel Sabiti)

$GM_0$  : Eski (Referans Elipsoidinin Jeosentrik Gravitasyonel Sabiti)

ve

$$\bullet_p = \bullet_z + (T'_p / \gamma_p) \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada , sıfıncı terim düzeltmesi  $\bullet_z$

$$\zeta_z = \frac{GM - GM_0}{r_p \gamma_p} - \frac{(W_0 - U_0)}{\gamma_p} \quad (8)$$

şeklindedir.

Jeoit ondülasyonlarını hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır

$$N = \zeta + \frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\gamma} H \quad (9)$$

$\bar{g}$  : Jeoit ve P noktası arasındaki gerçek gravitenin ortalama değeri

$\bar{\gamma}$  : Elipsoit ve normal gravite alanında P noktasına karşılık gelen eşpotansiyel yüzeyi arasındaki normal gravitenin ortalama değeri.

Heiskanen ve Moritz,  $\Delta_{gB}$  , Bouger anomalisi olmak üzere,

$$\frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\gamma} H \approx \frac{\Delta_{gB}}{\gamma} H \quad (10)$$

olduğunu göstermiştir. Bu durumda (9) eşitliği,

$$N = \zeta + \frac{\Delta_{gB}}{\gamma} H \quad (11)$$

şeklini alır. (11) ve (7) eşitlikleri kullanılarak,

$$N(\theta, \lambda) = \zeta_z + \frac{GM}{r_p \gamma_p} \sum_{n=2}^M \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} Y_{nm}(\theta, \lambda) + \frac{\Delta_{gB}(\theta, \lambda)}{\gamma} H(\theta, \lambda) \quad (12)$$

elde edilir. Maksimum açınım derecesi M olarak alınmıştır. (12) eşitliğinin sağ tarafındaki ikinci terim  $\bullet^*$  olarak seçilirse, yükseklik anomalisi terimi;

$$\zeta(r, \theta, \lambda) = \zeta_z + \zeta^*(r, \theta, \lambda) \quad (13)$$

yazılabilir.  $\bullet^*$ 'in uygun şekilde belirlenebilmesi için elipsoit üzerindeki bir noktada ( $r_E$ ,  $\bullet$ ,  $\bullet$ ) dan açınım yapılarak aşağıdaki denklem yazılır.

$$\zeta^*(r, \theta, \lambda) = \zeta^*(r_E, \theta, \lambda) + \frac{\partial \zeta^*}{\partial r} h + \frac{\partial \zeta^*}{\partial \gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial r} h \quad (14)$$

h : Elipsoidal yükseklik

(13) eşitliği;

$$\zeta(r, \theta, \lambda) = \zeta_z + \zeta^*(r_E, \theta, \lambda) + C_1(h, \theta, \lambda) + C_2(h, \theta, \lambda) \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir.  $C_1$  terimi (12) eşitliğinin sağ tarafında r'e bağlı olarak verilen  $\bullet^*$ 'in küresel harmoniklere açınımının diferansiyeli ile hesaplanır.

$$C_1(h, \theta, \lambda) = -h \frac{GM}{r^2 \gamma} \sum_{n=2}^M (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} Y_{nm}(\theta, \lambda) \quad (16)$$

$C_2$  terimini hesaplamak için ilk olarak  $\bullet^*$ 'in  $\ast$  ya göre diferansiyeli alınır ve böylece aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$C_1(h, \theta, \lambda) = \frac{-h \zeta^*}{\gamma^2} \frac{\partial \gamma}{\partial r} \quad (17)$$

Elipsoit yüzeyinde, her hangi bir jeodezik enlem  $\star$  deki, normal gravite değeri,

$$\gamma = \gamma_E \frac{1 + k \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (18)$$

eşitliği ile hesaplanır [Moritz, 1992]

$\ast_E$  : Ekvatorial gravite

$\ast_p$  : Kutuplardaki gravite

$$k = \frac{b\gamma_p}{a\gamma_E} - 1 \quad (19)$$

(17) eşitliğindeki gradyent terimi Heiskanen ve Moritz'den  $\partial\gamma/\partial h$  olarak alınır, f elipsoidin basıklığı olmak üzere;

$$\frac{\partial\gamma}{\partial h} = -\frac{2\gamma_E}{a}(1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \quad (20)$$

yazılabilir. (20) eşitliğindeki m (w, açısal hız olmak üzere);

$$m = \frac{w^2 a^2 b}{GM} \quad (21)$$

şeklinde hesaplanır.

Bazı hesaplamalarda (20) eşitliğindeki gradyent terimi için  $-0.3086\text{m Gal/m}$  sabit değeri alınabilir[Lemoine, Kenyon ve ark., 1998]

Şimdi (12) eşitliğindeki jeoit ondülasyonu çeşitli düzeltme terimleri kullanılarak ifade edilirse

$$N(\theta, \lambda) = \zeta_z + \zeta^*(r_E, \theta, \lambda) + C_1(h, \theta, \lambda) + C_2(h, \theta, \lambda) + C_3(H, \theta, \lambda) \quad (22)$$

olur.  $C_3$  terimi; (12) eşitliğinin sağ tarafındaki üçüncü terimden gelmektedir.

$$C_3(H, \theta, \lambda) = \frac{\Delta_{gB}(\theta, \lambda)}{\bar{\gamma}} H(\theta, \lambda) \quad (23)$$

(23) eşitliğindeki  $\bar{\gamma}$  terimi söz konusu nokta ile jeoit arasındaki normal gravitenin ortalama değeri olup, aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\bar{\gamma} = \gamma + \frac{1}{2} \frac{\partial\gamma}{\partial h} H \quad (24)$$

Bazı hesaplamalar için noktanın yüksekliğinde,  $\bar{\gamma}$  değeri  $\ast$  değerine eşit olarak alınmaktadır[Heiskanen ve Moritz, 1967].

Rapp tarafından(1997) açıklandığı gibi (22) eşitliğinde verilen  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  terimlerinin hesaplanma işlemi  $C(\bullet, \bullet)$  ile gösterilen üç terimin toplamının bir küresel harmoniğe açılımının değerlendirilmesi şeklinde özetlenebilir.

$$C(\theta, \lambda) = C_1(h, \theta, \lambda) + C_2(h, \theta, \lambda) + C_3(H, \theta, \lambda) \quad (25)$$

$C_3$  terimini değerlendirme aşamasında Bouguer gravite anomalisi hesaplanmalıdır. Bu hesaplama serbest gravite anomalisi( $\ast_{gFA}$ ) ve yükseklik yardımıyla yapılabilir

$$\Delta_{gB}(\theta, \lambda) = \Delta_{gFA}(\theta, \lambda) - 2\pi\rho GH(\theta, \lambda) \quad (26)$$

G :Gravitasyonel sabit

• :Yerkabuğunun yoğunluğu

2670kg/m<sup>3</sup> lük sabit bir yoğunluk varsayımıyla (26) denklemi

$$\Delta_{gB}(\theta, \lambda) = \Delta_{gFA}(\theta, \lambda) - 0.1119H(\theta, \lambda) \quad (27)$$

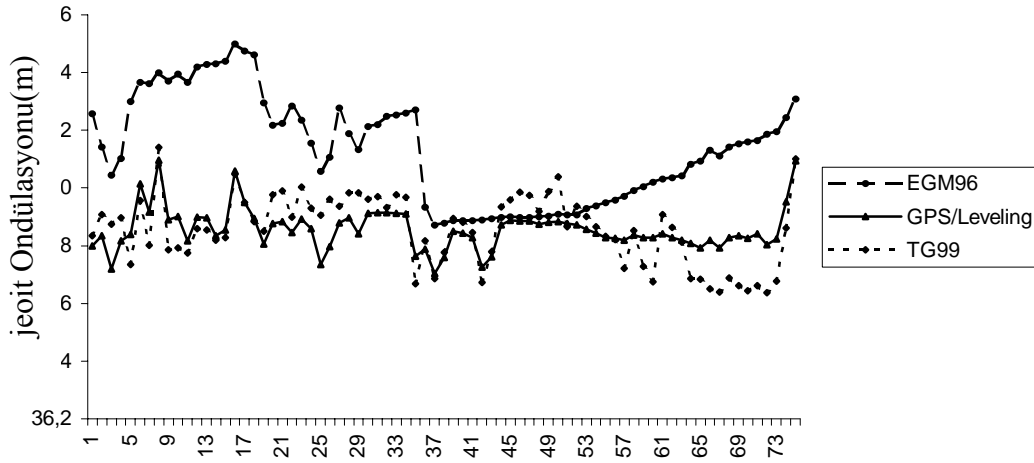
olur. Verilen potansiyel katsayılarıyla serbest hava anomalisi:

$$\Delta_{gFA}(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r^n} \sum_{n=2}^M (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} Y_{nm}(\theta, \lambda) \quad (28)$$

(25) eşitliğindeki C<sub>i</sub> terimlerinin değerlendirilmesinde bir yükseklik veri setine ihtiyaç vardır. 5'x5' lık global yükseklik seti, JGP95E, bu proje bünyesinde geliştirilmiş bir veri tabanıdır. Bu değerler 30'x30' lık hücrelerde ortalamalar halinde ele alınmış ve N.Pavlis tarafından 360 derecelik bir küresel harmonik açılımı yapılmıştır. Bu katsayılar daha sonra global anlamda 30'x30' lık yüksekliklerin (H) hesaplanmasında kullanılmıştır. İzlenen bu yöntem ortalama anomalilerin ve ortalama • \* değerlerinin hesaplanmasında kullanılan işlemlerde uygundur[Smith ve Milbert,1997].

## 6. SAYISAL UYGULAMA

Türkiye' de enlemleri 39° 38' 52'' .971 ile 40° 05' 39'' .267 arasında, boylamları 32° 25' 06'' .386 ile 32° 56' 55'' .204 arasında, ~1700km<sup>2</sup> lik bir alanda 75 adet noktanın nivelmanla ortometrik yükseklikleri, statik yöntemle GPS ölçüleri yapılmış ve ölçülerin değerlendirilmesi sonucu her noktadaki jeoit ondülasyonu (1) eşitliği ile hesaplanmıştır.Yine çalışma alanındaki noktaların jeoit ondülasyonları EGM96 jeopotansiyel katsayıları kullanılarak F477.F programı ile ayrıca aynı noktaların Türkiye Mutlak Jeoidi TG99'a göre jeoit ondülasyon değerleri Harita Genel Komutanlığından temin edilmiştir.Her nokta için hesaplanan ondülasyon değerleri Şekil 2 de gösterilmiştir.

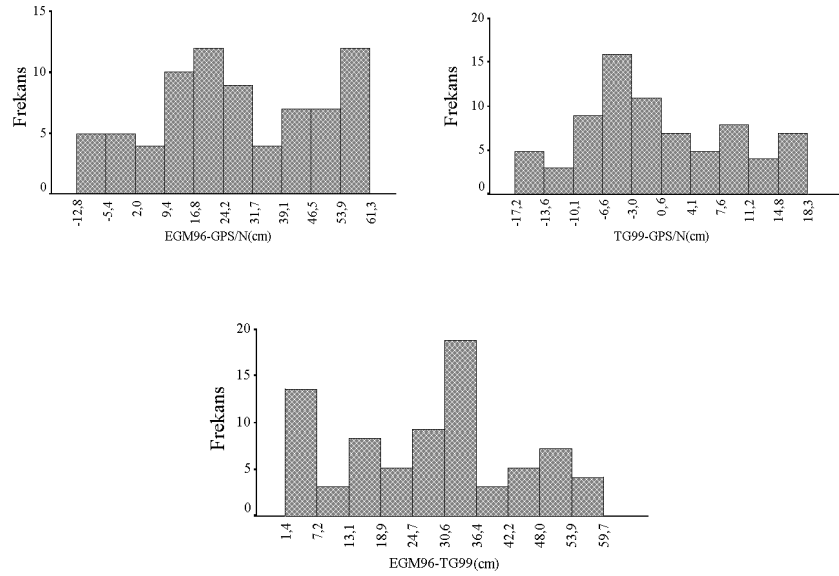


Şekil 2: EGM96 Jeopotansiyel Modeli, Türkiye Mutlak Jeoiti TG99 ve GPS/Nivelman ile hesaplanan jeoit ondülasyonları

EGM96 Jeopotansiyel modeli , Türkiye mutlak jeoidi TG99 ve GPS Nivelman ile elde edilen jeoit ondülasyonları arasındaki farklar hesaplanmıştır (Tablo 1). Tablo 1 ve Tablo 2 incelendiğinde EGM96 ile GPS/Nivelman arasındaki farklar -12.8 cm ile 61.3 cm , TG99 ile GPS/Nivelman arasındaki farklar -17.2 cm ile 18.2 cm, EGM96 ile TG99 arasındaki farklar 1.4 cm ile 59.7 cm arasında değişmektedir. Farkların dağılımı Şekil 3 de gösterilmiştir.

Tablo 1: Ondülasyon farkları (cm)

N.NO	EGM96 - GPSN	TG99 - GPSN	EGM96 - TG99	N.NO	EGM96 - GPSN	TG99 - GPSN	EGM96 - TG99	N.NO	EGM96 - GPSN	TG99 - GPSN	EGM96 - TG99
1	42,5	-3,5	46,0	26	14,7	-16,3	31,0	51	4,1	1,0	3,1
2	23,6	-7,3	30,9	27	34,2	-5,8	40,0	52	-2,8	-6,4	3,6
3	17,2	-15,4	32,6	28	20,5	-8,7	29,2	53	2,8	-4,4	7,2
4	20,8	-8,0	28,8	29	15,0	-14,3	29,3	54	7,2	-2,2	9,4
5	56,5	10,3	46,2	30	25,2	-4,8	30,0	55	11,8	-0,4	12,2
6	41,0	5,7	35,3	31	25,0	-5,6	30,6	56	13,7	0,4	13,3
7	56,2	11,6	44,6	32	31,6	-1,8	33,4	57	25,0	9,6	15,4
8	26,0	-4,3	30,3	33	27,7	-6,4	34,1	58	13,9	-1,7	15,6
9	58,6	10,4	48,2	34	29,2	-5,8	35,0	59	27,7	10,1	17,6
10	60,3	10,9	49,4	35	60,4	9,5	50,9	60	34,5	15,3	19,2
11	59,2	4,3	54,9	36	11,9	-2,7	14,6	61	12,5	-6,6	19,1
12	56,2	4,2	52,0	37	18,7	1,9	16,8	62	17,4	-3,5	20,9
13	57,6	4,2	53,4	38	10,3	-1,6	11,9	63	23,2	0,8	22,4
14	61,3	1,6	59,7	39	-0,7	-4,5	3,8	64	39,7	12,3	27,4
15	61,2	2,6	58,6	40	0,6	-3,8	4,4	65	41,1	10,8	30,3
16	45,4	1,1	44,3	41	4,2	-1,8	6,0	66	48,2	16,8	31,4
17	52,6	0,0	52,6	42	21,7	5,4	16,3	67	47,2	15,3	31,9
18	57,9	1,1	56,8	43	11,5	-1,8	13,3	68	45,4	14,0	31,4
19	44,4	-4,6	49,0	44	-3,6	-6,2	2,6	69	49,2	17,4	31,8
20	24,3	-10,0	34,3	45	-5,7	-7,1	1,4	70	51,7	18,3	33,4
21	23,7	-10,5	34,2	46	-8,5	-9,9	1,4	71	50,3	18,0	32,3
22	38,8	-5,3	44,1	47	-7,6	-9,0	1,4	72	55,1	16,8	38,3
23	23,2	-11,2	34,4	48	-1,7	-4,4	2,7	73	52,0	14,7	37,3
24	22,6	-7,2	29,8	49	-8,4	-10,6	2,2	74	38,4	9,1	29,3
25	15,3	-17,2	32,5	50	-12,8	-15,6	2,8	75	20,9	-0,5	21,4



Şekil 3: Ondülasyon farklarının dağılımı

Tablo 2: Ondülasyon farklarının sınır değerleri,ortalamaları ve Standart sapmaları(cm)

	EGM96-GPS/N	TG99-GPS/N	EGM96-TG99
Maksimum	61.3	18.3	59.7
Minimum	-12.8	-17.2	1.4
Ortalama	27.87	0.09	27.78
Standart Sapma	34.83	9.16	32.19

## 7. SONUÇ

Bugüne kadar jeoit belirleme çalışmalarında gravimetrik yöntem, astrojeodezik yöntem ve potansiyel katsayıları yöntemi kullanılmıştır. Gravimetrik yöntemde birkaç km aralıklarla noktaların gravite değerlerine ihtiyaç vardır. Bu yöntemde yerel ve bölgesel jeoit cm, global jeoit metre hassasiyetinde belirlenmektedir. Jeodezik ve astronomik koordinatları bilinen noktalarda hesaplanan çekül sapmaları kullanılarak astrojeodezik yöntemle jeoit belirlenebilmektedir. Belirli bir derece ve sıraya kadar küresel harmonik seriye açılmış jeopotansiyel katsayılar jeoit ondülasyonlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, global anlamda bir metreden daha iyi bir doğrulukla jeoit tesbit etmek üzere geliştirilen 360 derecelik Dünya Gravitasyonel Modeli 1996 ve Türkiye için geliştirilen Türkiye mutlak jeoidi TG99 kullanılmıştır. Çalışma alanındaki 75 noktanın jeoit ondülasyonları EGM96, TG99 ve GPS/Nivelman ile belirlenmiştir. EGM96 ve GPS/Nivelman ile belirlenen ondülasyon farkları -12.8 cm ile 61.3 cm arasında değişmektedir. Gerçekleştirilen bu sayısal uygulama EGM96 jeopotansiyel modelin çalışma bölgesi için jeoidi kabul edilebilir doğrulukta modelliğini göstermektedir. Ayrıca EGM96 jeopotansiyel modelinin geliştirilmesi çalışmalarında Türkiye'den herhangi bir yüzey gravite veya jeoit ondülasyonu veri seti kullanılmadığı göz önüne alınırsa, EGM96 jeopotansiyel modelinin, her şeye rağmen, Türkiye için kabul edilebilir seviyede jeoit modelleme doğruluğuna sahip olduğu söylenebilir.

Türkiye mutlak jeoidi TG99, GPS gözlemlerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliğe geçiş sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Çalışma alanındaki 75 noktanın, TG99 ve GPS/Nivelman ile belirlenen jeoit ondülasyonları arasındaki fark -17.2 cm ile 18.3 cm arasındadır ve 20 cm den daha iyi bir modelleme doğruluğu sağlamaktadır.

## 8. KAYNAKLAR

- Ayhan, E., Bank, E., Lenk, O., Şeker, A., 1987, South-Western Anatolia (Aegean Region) doppler geoid. Bolletino di Geod. E Sci. Afini. Anno XLVI, No.4, pp.293.308
- Ayhan, E., 1992, Türkiye jeoidi-1991 (TG-91), Harita Dergisi, sayı 108, pp.1-17, Ankara
- Ayhan, E., 1993, Geoid Determination in Turkey (TG-91), Bulletin Geodesique, Vol.67, pp.10-22
- Bursa, M., Radej, K. ve ark., 1997, Tests for accuracy of recent geopotential models, IGeS Bulletin N.G., Milano
- Dodson, A.H., Hanson, P., 1995, GPS heighthening demonstration project, Beeston, Report I.E.S.S.G., University of Notingham, pp 1-5
- Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967, Physical geodesy (Çev.: Onur GÜRKAN), W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Lemoine, F.G., Kenyon, S.c. ve ark., 1998, The development of the NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) joint geopotential model EGM96, NASA Technical Paper-1998-206861, Maryland.
- Lemoine, F.G., Smith, D.E. ve ark., 1996, The development of the NASA GSFC and NIMA joint geopotential model, International Symposium GRAGEOMAR96, Tokyo
- Liddle, D.A., 1989, Orthometric height determination by GPS Surveying and Mapping, Vol.49, No:1
- Moritz, H., 1980, Advanced physical geodesy. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Moritz, D.G., 1992, Geodetic Reference System 1980, Bulletin Geodesique, 66, 2187-197.
- Ollikainen, M., 1997, Determination of orthometric heights using GPS leveling, Publication of the Finnish Geodetic Institute, No:23, Kirkkonummi
- Smith, D.A. and Milbert, D.G., 1997, Evaluation of preliminary models of the geopotential in the mited states, Intl. Geoid service bulletin, 6.
- Tscherning, C.C., 1984, Local Approximation of the Gravity Potential by Least Squares Collocation. (In Proc. Of the Int. Summ. Sch. On Local Gravity Field Approximation. Ed: K.P. Schwarz, Beijing, pp.227-362)
- Yıldırım, A., 2000, Türkiye Mutlak Jeoidini (TG99) belirleme projesi, Harita Genel Komutanlığı, Ankara