

**Makale  
(Article)**

## **Geometrik ve Gravimetrik (Gel-Gitten Bağımsız) Jeoid Modellerinin Karşılaştırılması: Trabzon Örneği**

**Kemal YURT\***, **Ertan GÖKALP\*\***

\* Dr., Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Aksaray

\*\* Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Trabzon  
[kemalyurt@gmail.com](mailto:kemalyurt@gmail.com)

### **Özet**

GPS teknolojisinin gelişmesi ile birlikte yatay ve düşeyde konum duyarlılığı fazla olan noktaların belirlenmesinde hızlı gelişmeler sağlanmıştır. GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerden pratikte kullanılan ortometrik yüksekliklere geçişte sadece GPS ölçüleriyle daha duyarlı sonuçlar elde etme çalışmalarını artmıştır.

Bu çalışmada, geometrik ve gravimetrik lokal jeoid modellerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Böylece daha sonra yapılabilecek GPS ölçüleri sonrasında nivelman gibi ilave çalışmalara gerek kalmadan ortometrik yüksekliklere geçiş duyarlı bir şekilde sağlanacaktır.

Bu işlemler için Trabzon şehir merkezi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Çalışma alanında uygun dağılımda 39 nokta tesis edilmiştir. Ortometrik yükseklikler  $\pm 5.03$  mm'lik bir karesel ortalama hata ile geometrik nivelmanla taşınmıştır. Çalışma sonucunda, GPS/Nivelman jeoid modelinin karesel ortalama hatası  $\pm 8.5$  mm olarak elde edilmiştir. Gravimetrik jeoid belirlemede ise WGS84 EGM96 (gel-gitten bağımsız) jeoid belirleme yöntemi uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lokal Jeoid, Geometrik Jeoid, Gravimetrik Jeoid, GPS/Nivelman Jeoidi

## **A Comparison of Geometric and Gravimetric (Tide-Free) Geoid Models: A Case Study in Trabzon**

### **Abstract**

The positioning precision in horizontal and vertical directions has improved as a result of developing GPS technology. The studies to obtain orthometric heights from only GPS measurements have increased. In this study, it is aimed to determine the geometric and gravimetric local geoids. Thus the orthometric heights from GPS measurements, without any need to leveling measurements later, will be obtained.

In order to achieve these purposes, a region including the city center of Trabzon has been chosen as study area. 39 optimum range points have been established in this area. The orthometric heights of these points have been derived from geometric leveling that has a root mean square error (RMSE)  $\pm 5.03$  mm. As a result of the study the RMSE of GPS/Leveling geoid model is obtained as  $\pm 8.5$  mm. In determining the gravimetric geoid, WGS84 EGM96 (tide-free) techniques has been applied.

**Keywords:** Local Geoid, Geometric Geoid, Gravimetric Geoid, GPS/Leveling Geoid

*Bu makaleye atf yapmak için*

Yurt, K., Gökalp, E., "Geometrik ve Gravimetrik (Gel-Gitten Bağımsız) Jeoid Modellerinin Karşılaştırılması: Trabzon Örneği", Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, 1(1) 23-31

*How to cite this article*

Yurt, K., Gökalp, E., "A Comparison of Geometric and Gravimetric Geoid Models: Case Study in Trabzon" Electronic Journal of Map Technologies, 2009, 1 (1) 23-31

## 1. GİRİŞ

Üç boyutlu konum belirlemede günümüzün en pratik ve hızlı tekniği GPS tekniğidir. GPS tekniği, klasik yöntemlerin çoğundan daha duyarlı, daha hızlı ve daha ekonomiktir. Ayrıca bu teknikte daha geniş alanlara uzanan kontrol noktaları tesis etmek mümkündür. GPS'in her türlü hava şartlarında kullanılması ve noktaların birbirlerini görme zorunluluğunun olmaması bu sistemin jeodezik ölçülerde kullanılma nedenlerini artırmıştır.

GPS ile yatayda birkaç mm düzeyinde doğruluk elde etmek mümkünken, düşeyde aynı durum söz konusu değildir. GPS ölçmeleri ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerin pratikte kullanılmasının mümkün olmaması, hassas bir jeoid belirleme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Pratikte kullanılan yükseklik, başlangıç yüzeyi olarak kabul edilen jeoid yüzeyinden olan uzaklıktır. Kararların altında da devam ettiği düşünülerek belirlenen ve ortalama deniz yüzeyine yakın ve potansiyeli  $W_0$  olan jeopotansiyel yüzey, yeryüzü noktaları için başlangıç yüzeyi olup bu yüzey jeoid olarak adlandırılmaktadır [1], [2].

Yüksekliklerin bulunmasında nivelman işleminin zaman alıcı hem de yorucudur. Bu sorunu GPS gözlemleri ile çözebilmek için ve bulunan ortometrik yüksekliklerin hassasiyetinden emin olabilmek için jeoid ondülasyonlarının hassas olarak belirlenmesi gerekir.

Elipsoid ile jeoid normal olarak çakışmamaktadır. Bunun nedeni, elipsoidin matematiksel olarak tanımlanmasına karşılık jeoidin fiziksel bir yüzey olmasıdır. Jeoid ile elipsoid arasındaki farklılıklar, yeryuvarının gravite alanındaki değişimlerini yansıtmaktadır.

GPS ile ortometrik yükseklik belirleme ancak jeoid yüksekliğinin bilinmesiyle mümkün olmaktadır. Dolayısıyla GPS'e dayalı ortometrik yükseklik doğruluğuna, elipsoidal yüksekliğin ve jeoid yüksekliğinin doğruluğuna bağlıdır.

Global yöntemler uzun dalga boylu jeoid değişimlerini göstermekte ve mutlak doğrulukları düşük olup yerel etkileri içermemektedirler. Bu nedenle, bu yöntemlerin gravimetrik ölçmelerle desteklenmesi gerekmektedir. Pratikte, jeoiddeki yerel değişimlerin belirlenmesinde kullanılabilecek en etkin ve ekonomik yöntem olarak GPS ile Nivelman ölçmelerinin kombinasyonu kabul edilebilir [3]. Rölatif GPS tekniği kullanıldığında elipsoidal yükseklikler yeterli doğrulukta belirlenebilir [4], [5]. Ortometrik yüksekliklerin ise geometrik nivelman ile belirlenmesi yaygındır.

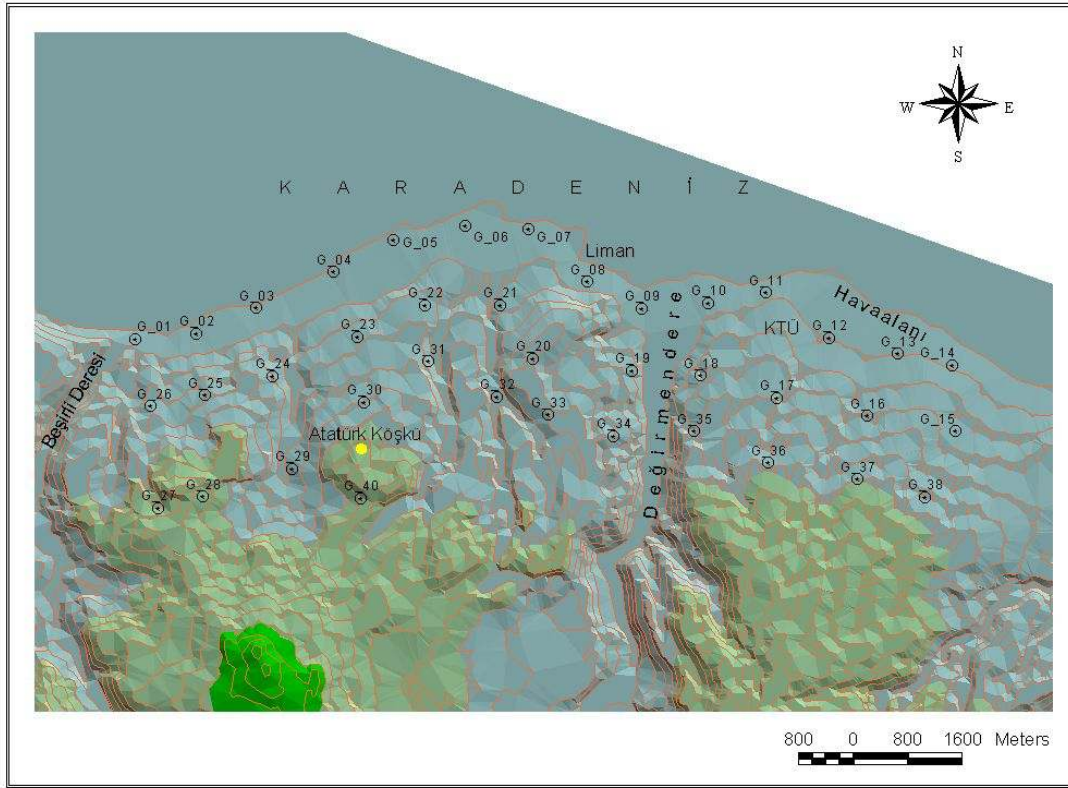
Bu çalışmada lokal bir bölge seçilerek, seçilen bölgede oluşturulan noktaların jeoid ondülasyonları geometrik ve gravimetrik olarak belirlenmiştir. Gravimetrik jeoid ondülasyonu WGS84 EGM96 gel-gitten bağımsız sistemde hesaplanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Lokal Jeoid Belirleme Ağının Oluşturulması

Lokal jeoid belirleme çalışması için uygulama alanı olarak Trabzon Merkez ve Pelitli Beldesi yerleşim alanını kapsayan (yaklaşık 2x15 km) bölge seçilmiştir.  $40^{\circ} 58' 20''$  ile  $41^{\circ} 00' 33''$  enlemleri ve  $39^{\circ} 39' 33''$  ile  $39^{\circ} 48' 05''$  boylamları arasında kalan çalışma alanı Karadeniz kıyısında kıyı şeridine paralel şekilde uzanmaktadır. Alan doğu-batı yönünde Giresun istikametinde Trabzon şehir girişinden başlayıp Rize istikametinde Pelitli Beldesi çıkışına, kuzey-güney yönünde ise Karadeniz kıyısından başlayıp 2 km güneyine kadar devam etmektedir. Bölgenin Karadeniz kıyı şeridi boyunca mesafesi yaklaşık 13 km'dir. Çalışma bölgesi, nispeten eğimin yüksek olduğu bir yapıya sahiptir.

Lokal Jeoid Belirleme Ağı (LJBA) noktaları, bölgeye ait bir hâlihazır haritadan yararlanarak oluşturulmuştur. Hâlihazır harita üzerinde inceleme yapılarak çalışma alanını kapsayacak şekilde nokta yerleri belirlenmiştir. LJBA, sahil şeridine paralel 3, sahil şeridine dik 13 sıradan oluşan ve aralarında yaklaşık 1'er km mesafe ve homojen dağılımda bulunan 39 adet noktadan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Trabzon LJBA ve çalışma alanı

Nokta yerleri belirlenirken arazinin fiziksel yüzeyini yansıtmasına ve homojen dağılımda olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra hâlihazır harita üzerinden alınan yaklaşık koordinatlar yardımıyla arazi istikşafı gerçekleştirilmiştir.

Arazide noktalar tesis edilirken GPS ile ölçme şartları göz önünde bulundurulmuştur. Noktaların uydulardan gelen sinyallerin kolayca alınabileceği açık alanlarda olmasına, yüksek gerilim hattının altında bulunmamasına, çokluyol (multipath) etkisinin minimum olabileceği ve nivelman işleminin rahat yapılabileceği yerlerin seçilmesine dikkat edilmiştir. LJBA noktaları zeminde çivi şeklindedir.

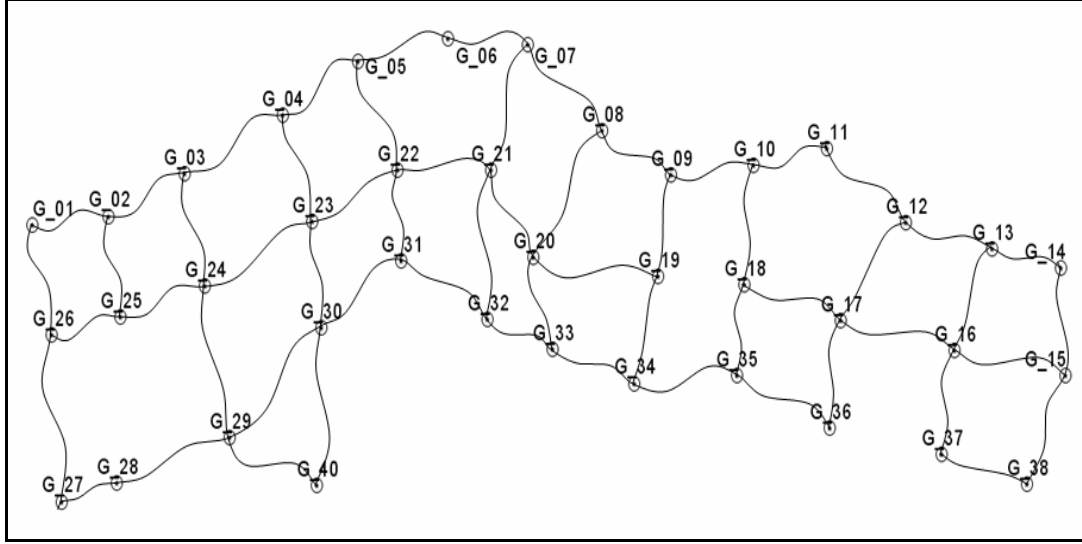
## 2.2. Lokal Jeoid Belirleme Ağının Ölçülmesi

GPS ölçüleri, L1 ve L2 frekanslı, 12 kanallı ve jeodezik antene sahip 2 adet Ashtech Z-Xtreme ve 3 adet Ashtech Z-Surveyor olmak üzere toplam 5 adet alıcı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle GPS ölçüleri için bir oturum planı hazırlanmıştır. Oturum planı hazırlanırken bir noktadan diğer noktaya olan ulaşım durumu ve aletlerin optimum kurulum durumuna dikkat edilmiştir. GPS ölçüleri 7 günde ve 27 oturumda tamamlanmıştır. Ölçüler statik GPS ölçü yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. GeoGenius2000 yazılımı ile WGS84 datumunda gerçekleştirilen değerlendirme sonrasında bazlarda oluşan hata elipsleri yatayda 2.9 mm, düşeyde 6.5 mm olarak elde edilmiştir. Ölçüler serbest ağ dengelemesine tabi tutulmuş ve nokta konumlarında ise yatayda 5.3 mm, düşeyde 6.9 mm doğruluklara ulaşılmıştır.

Noktaların ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesi için halihazır haritadan yararlanılarak noktalar arasında nivelman güzergâhı oluşturulmuştur. Nivelman güzergâhı belirlenmesinde, lup kapanmalarına

dikkat edilmiş ve bütün luplar kapatılmıştır. Nivelman işlemi Topcon-DL101C dijital nivo aleti ile gerçekleştirilmiştir. Bu ölçü aletinin 1 km'lik nivelmandaki ölçme hassasiyeti invar miralarla elektronik ölçmelerde 0.4 mm, optik okumalarda 1 mm'dir (Dijital Nivo Kullanım Kılavuzu).

Çalışmadaki nivelman işlemi, yükseklik değerleri bilinen iki adet noktadan çıkış alınarak yapılmıştır. Nivelman işlemi sırasında 58 güzergâh oluşturulmuş ve 20 adet lup kapatılmıştır. Nivelman güzergâhının toplam uzunluğu ise 108 km'dir. Hâlihazır harita üzerinde belirlenmesine rağmen G\_18-G\_19, G\_25-G\_28, G\_36-G\_37 arasındaki güzergâhlar arazi şartlarından dolayı ölçülemez. Nivelman güzergâhındaki lup kapanma hataları maksimum G\_09, G\_10, G\_18, G\_19, G\_34 ve G\_35 noktalarını kapsayan lupta çıkmıştır. Bu noktaları kapsayan 12759 m'lik luptaki hata miktarı 9.6 mm'dir (Şekil 2).



Şekil 2. LJBA nivelman güzergâhı

LJBA'da gidiş-dönüş ölçülerinin ortalaması alınarak bulunan 1 km geçki uzunluklu bir ölçünün ortalama hatasının öncül değeri ( $s_0$ ), lup kapanma hatalarından yararlanarak  $\pm 3.2$  mm hesaplanmıştır. Serbest ağ dengelemesi sonucunda birim ölçünün ortalama hatası ( $m_0$ )  $\pm 2.4$  mm bulunmuştur. Dengeleme sonrası test büyüklüğü ve sınır değerler

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} = 1.856 \quad (q=F_{20,20,0.975}=2.4645, q=F_{20,20,0.95}=2.1242) \quad (1)$$

çıkılmış ve  $T < q$  olduğu için dengeleme modeli geçerli sayılmıştır. Daha sonra Pope yöntemine göre uyumsuz ölçüler testi yapılmış ve ölçülerdeki test sonucu değerleri ( $t_i$ ) 0.203 ile 1.901 arasında çıkmıştır.  $t_i$  değerlerinin  $t$  dağılım tablosundan alınan  $t_{max}=1.936$  tablo değerinin altında kaldığı ve uyumsuz ölçü olmadığı görülmüştür. Daha sonra ölçülere dinamik ve ortometrik (jeofizik) indirgemeler getirilerek yeniden dengelemeye tabi tutulmuştur. İkinci kez yapılan dengelemede daha önce yapılan nivelman dengelemesi sonucunda bulunan nokta yükseklikleri yaklaşık değer olarak alınmış ve yeni dengeleme sonucunda birim ölçünün ortalama hatası ( $m_0$ )  $\pm 5.03$  mm, ölçü duyarlıkları ( $m_i$ ) ise  $\pm 4.6$  mm ile  $\pm 12.3$  mm arasında değerler almıştır. Bu değerlendirme sonucu noktaların ortometrik yükseklikleri bulunmuştur.

Noktaların gravite değerleri Worden gravimetre aleti ile rölatif olarak yapılmıştır. Gravite ölçmelerinde, Trabzon Limanı içerisinde bulunan ve gravite değerleri bilinen BG-4087 ve BG-4088 noktaları referans alınmıştır. Gravimetri aleti için alet sabiti, ölçüye çıkmadan önce ve ölçüm bittikten sonra referans

noktalarında ölçüm yapılarak sürekli kontrol edilmiştir. Gravite ölçümleri ağa ait nokta üzerlerinde ve nivelman güzergâhında eğimin değiştiği noktalarda yapılmıştır.

### 3. JEOİD ONDÜLASYONLARININ HESABI

#### 3.1. Geometrik Yöntem

Noktaların, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu hesaplanan elipsoidal yükseklikleri ve nivelman ölçü ve hesaplarıyla bulunan ortometrik yükseklikleri

$$h = H + N \quad (2)$$

denkleminde yerlerine konularak jeoid ondülasyonları hesaplanmıştır. LJBA noktalarının elipsoidal yükseklikleri, ortometrik yükseklikleri ve GPS/Nivelman jeoid ondülasyonları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. LJBA noktalarının elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri ile jeoid ondülasyonları

Nokta No	h (m)	H (m)	N (m)	Nokta No	h (m)	H (m)	N (m)
G_01	32.761	7.483	25.278	G_21	111.329	86.461	24.868
G_02	31.136	5.916	25.220	G_22	139.981	115.036	24.945
G_03	30.240	5.171	25.069	G_23	164.254	139.141	25.113
G_04	33.888	8.967	24.921	G_24	153.057	127.758	25.299
G_05	28.897	4.121	24.776	G_25	232.037	206.626	25.411
G_06	29.796	5.117	24.679	G_26	207.108	181.611	25.497
G_07	30.043	5.380	24.663	G_27	387.834	362.048	25.786
G_08	29.702	4.974	24.728	G_28	385.529	359.842	25.687
G_09	33.591	8.832	24.759	G_29	220.396	194.853	25.543
G_10	36.668	11.964	24.704	G_30	287.498	262.185	25.313
G_11	58.203	33.536	24.667	G_31	138.109	112.982	25.127
G_12	69.652	44.904	24.748	G_32	126.196	101.066	25.130
G_13	67.096	42.362	24.734	G_33	274.851	249.682	25.169
G_14	63.114	38.395	24.719	G_34	234.417	209.239	25.178
G_15	132.559	107.607	24.952	G_35	227.974	202.857	25.117
G_16	183.068	158.084	24.984	G_36	304.654	279.494	25.160
G_17	215.230	190.222	25.008	G_37	310.973	285.788	25.185
G_18	132.902	107.959	24.943	G_38	262.334	237.166	25.168
G_19	156.621	131.656	24.964	G_40	419.629	394.024	25.605
G_20	276.715	251.701	25.014				

GPS/Nivelmanla bulunan jeoid ondülasyonlarındaki birim ölçünün karesel ortalama hatası;

$$m_N = \sqrt{m_H^2 + m_h^2} = \pm 8.5 \text{ mm} \quad (3)$$

dir. Burada;

- mH : Ortometrik yüksekliklerdeki birim ölçünün karesel ortalama hatası
- m<sub>h</sub> : Elipsoidal yüksekliklerdeki birim ölçünün karesel ortalama hatasıdır.

### 3.2. Gravimetrik Yöntem

Gravimetrik yöntemle jeoid ondülasyonları belirlenirken bir global model altlık olarak kullanılmaktadır. Bunun için de belirlenmiş jeopotansiyel katsayılara ihtiyaç vardır. Günümüze kadar birçok global jeopotansiyel katsayılar belirlenmiştir. Ancak bu jeopotansiyel katsayıların oluşturulmasında Türkiye'den veri seti kullanılmamıştır [6]. Bu jeopotansiyel katsayılardan en güncel durumda olan ve en çok kullanılanlar, değer ve sırası 360'a kadar hesaplanmış EGM96 küresel harmonik büyüme serileridir.

ABD Ulusal Görüntü ve Haritacılık Ajansı (NIMA: National Imagery and Mapping Agency)'nın internet sitesinden temin edilen EGM96 jeopotansiyel katsayıları NIMA, DMA (USA Defense Mapping Agency), GSFC (NASA Goddard Space Flight Centre) ve OSU (Ohio State University)'nun geliştirmiş olduğu harmoniklerdir [7]. Bu katsayılar dinamik katsayılardır.

Bu çalışmada da noktalardaki jeoid ondülasyonları hesabında jeopotansiyel model katsayıları olarak, günümüzde en güncel durumda olan değer ve sırası 360'a kadar hesaplanmış EGM96 küresel harmonik büyüme serileri kullanılmıştır. Hesaplamalar  $\bar{C}_{nm}$  tam normalize edilmiş potansiyel katsayılarında değeri 2'nin katları olan ve sırası 0'lı ilk beş terimin dinamik değerlerinden geometrik değerleri çıkarılarak yapılmıştır. Yani

$$\bar{C}_{n,0} = \bar{C}_{n,0(\text{dinamik})} - \bar{C}_{n,0(\text{geometrik})} \quad (4)$$

Tablo 2.  $\bar{C}_{n,0}$  geometrik katsayılar

$\bar{C}_{2,0}$ (geometrik)	-0.484166774985E-03
$\bar{C}_{4,0}$ (geometrik)	0.790303733511E-06
$\bar{C}_{6,0}$ (geometrik)	-0.168724961151E-08
$\bar{C}_{8,0}$ (geometrik)	0.346052468394E-11
$\bar{C}_{10,0}$ (geometrik)	-0.265002225747E-14

formülü uygulanmıştır. Burada kullanılan ve Tablo 2'de verilen  $\bar{C}_{n,0}$  (geometrik) değerleri yine aynı birimler tarafından hesaplanmıştır [7].

WGS84 EGM96 jeoid ondülasyonu, IAG (International Association of Geodesy) bünyesindeki bir birimin raporunda belirtilen ideal elipsoide göre gel-gitten bağımsız sistemde belirlenmektedir. Bir gel-gitten bağımsız sistem ile WGS84 sistemi arasında büyük yarı ekseninde -0.53 m'lik bir fark vardır [7]. Bu fark jeoid ondülasyonu hesabında  $N_0$  değeri olarak alınmıştır. EGM96 jeopotansiyel katsayılarından

$$\zeta(\phi, \lambda, r) = \frac{GM}{\gamma(\phi)r} \left[ \sum_{n=2}^{n_{\max}} \left( \frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi) \right] \quad (5)$$

formülü ile hesaplanan jeoid ondülasyonu kuasijeoid olarak alınmıştır. Daha sonra bulunan değerler

$$N(\phi, \lambda) = N_0 + \zeta(\phi, \lambda, r) + \frac{\Delta g_{BA}(\phi, \lambda)}{\bar{\gamma}} H(\phi, \lambda) \quad (6)$$

formülünde yerlerine konarak WGS84 EGM96 (gel-gitten bağımsız) jeoid ondülasyonları hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Bouguer anomalisi ve WGS84 EGM96 jeoid ondülasyonu

Nokta No	$\Delta g_{BA}$ (mGal)	N (m)	Nokta No	$\Delta g_{BA}$ (mGal)	N (m)	Nokta No	$\Delta g_{BA}$ (mGal)	N (m)
G_01	48.9532162	24.7115	G_14	18.2246062	24.5531	G_27	-33.7235995	24.8906
G_02	49.4101488	24.6916	G_15	-0.6760971	24.6326	G_28	-35.4637185	24.8663
G_03	42.5100552	24.6456	G_16	-9.5553811	24.6308	G_29	-0.5876156	24.8325
G_04	45.3280001	24.5821	G_17	16.0169631	24.6326	G_30	-14.8809317	24.7251
G_05	44.9092518	24.5270	G_18	26.0109030	24.6259	G_31	28.5769574	24.6725
G_06	45.3832775	24.4924	G_19	20.1779474	24.6349	G_32	25.2827371	24.7016
G_07	44.1710683	24.4816	G_20	7.6768651	24.6380	G_33	6.4187549	24.7048
G_08	41.7755143	24.5353	G_21	32.5159624	24.5856	G_34	9.8599992	24.7182
G_09	37.9327469	24.5563	G_22	17.1295672	24.6011	G_35	12.4178089	24.6937
G_10	33.4674350	24.5331	G_23	29.1041245	24.6578	G_36	4.3837231	24.7118
G_11	27.6905103	24.5058	G_24	18.1442124	24.7253	G_37	-38.1246609	24.6986
G_12	20.9689459	24.5479	G_25	3.0800800	24.7590	G_38	-46.9667828	24.7071
G_13	19.1198302	24.5517	G_26	10.4159549	24.7869	G_40	-45.4383408	24.8261

(6) denklemindeki Bouguer gravite anomalisi  $\Delta g_{BA}(\phi, \lambda)$

$$\Delta g_{BA}(\phi, \lambda) = \Delta g_{FA}(\phi, \lambda) - 0.1119 * H(\phi, \lambda) \quad (7)$$

ile bulunmuştur. Formülde bulunan serbest hava gravite anomalisi  $\Delta g_{FA}(\phi, \lambda)$  ise,

$$\Delta g_{FA}(\phi, \lambda) = g_p + FA - \gamma \quad (8)$$

denklemini ile hesaplanmıştır [7]. Burada,

- $g_p$  : Hesap noktasında gözlemlenmiş gravite,
- FA : Gravitedeki serbest-hava etkisi,
- $\gamma$  : Hesap noktasındaki normal gravitedir.

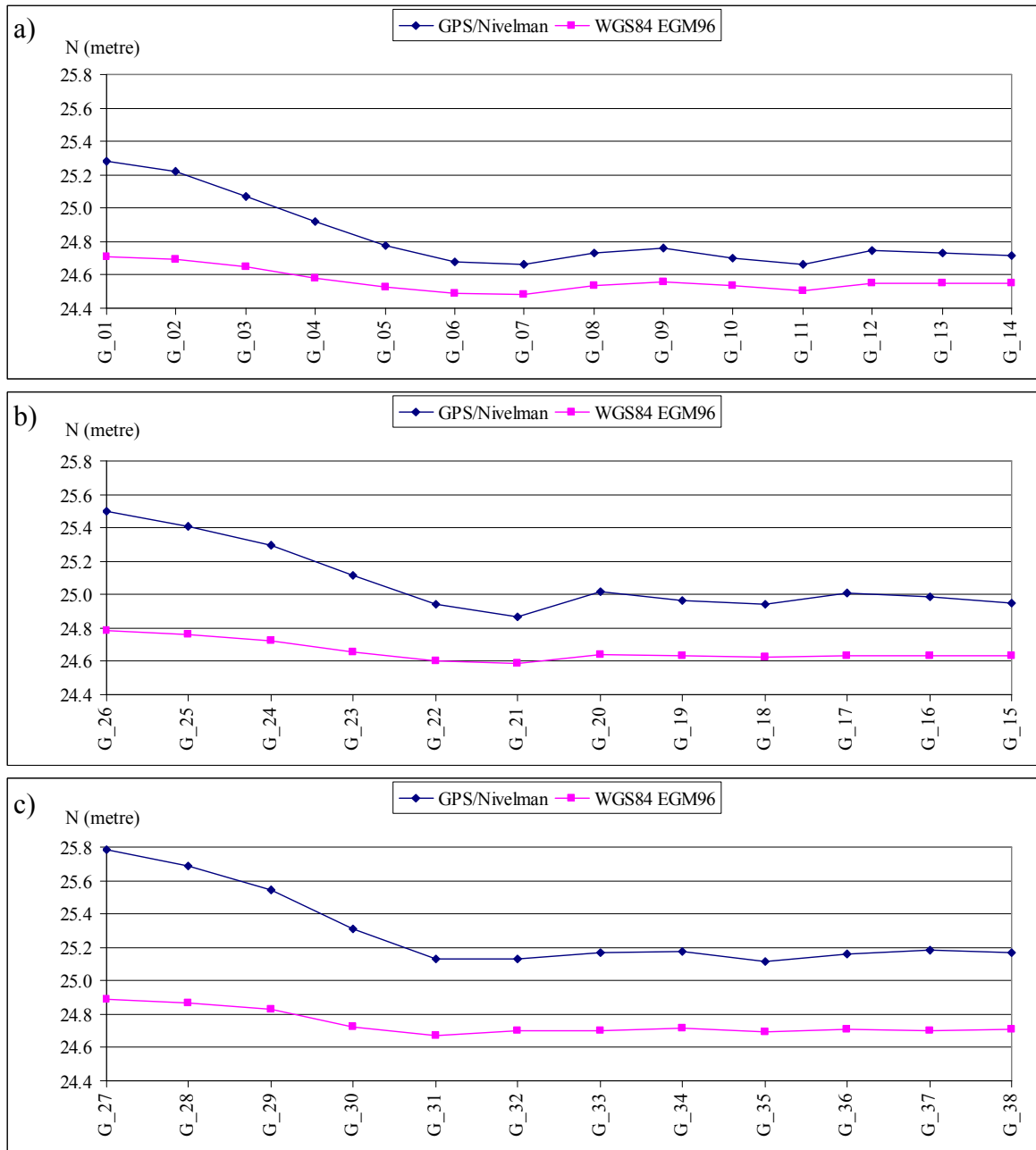
#### 4. GPS/NİVELMAN VE WGS84 EGM96 JEOİD MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

GPS/Nivelman jeoidi ile WGS84 EGM96 jeoidi arasında jeoid ondülasyonlarının farkları alınarak karşılaştırma yapılmıştır. İki model arasındaki farklar

$$\Delta N = N_{GPS/Nivelman} - N_{WGS84 EGM96} \quad (9)$$

formülü yardımıyla bulunmuştur.

GPS/Nivelman jeoidi ile WGS84 EGM96 jeoidi arasındaki jeoid ondülasyonu farkının 0.161 m ile 0.896 m arasında değiştiği görülmektedir. Ortalama farkı 0.417 m olan iki model arasında  $m = \pm 0.459$  m'lik bir standart sapma söz konusudur. GPS/Nivelman jeoidi ile WGS84 EGM96 jeoidinin birlikte grafik gösterimi Şekil 3'te verilmiştir.



şekil 3. GPS/Nivelman jeoidi ile WGS84 EGM96 (gel-gitten bağımsız) jeoidi karşılaştırmasının grafik gösterimi a) Sahil şeridi boyunca olan noktalar, b) Sahil şeridine 1 km mesafedeki noktalar, c) Sahil şeridine 2 km mesafedeki noktalar

GPS/Nivelman jeoidi ile WGS84 EGM96 jeoidi arasında şekil 3.a güzergâh noktalarında 0.268 m, şekil 3.b güzergâh noktalarında 0.424 m ve şekil 3.c güzergâh noktalarında ise 0.553 m'lik bir ortalama fark çıkmaktadır. Bu durum Karadeniz kıyısından uzaklaştıkça  $\Delta N$  değerinin arttığını göstermektedir. Bu artışın EGM96 global jeopotansiyel modelden kaynaklandığı ve enleme göre farklılıklar gösterdiği düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.

Ayrıca, şekil 3'te G\_06, G\_22 ve G\_31 noktalarının doğusunda kalan alanda hemen hemen aynı enlem üzerindeki noktaların her iki modeldeki jeoid ondülasyonları farkının birbirine yakın çıkmasına karşın ilgili noktaların doğusunda kalan kısımda farklılık olduğunu göstermektedir. Bu ise gravite verilerinin jeoid hesaplamalarının yapıldığı modeller üzerinde farklı etkilerinin olabileceği sonucunu çıkarmaktadır.



## 5. SONUÇLAR

Geometrik jeoid belirleme yöntemi pratikte en çok kullanılan yöntemdir. Yüksekliği bilinen bir noktadan hareketle diğer noktalara yükseklik verilmesi yöntemin gerçek jeoid ondülasyonlarını en iyi yansıtacağını göstermektedir. Noktalar arası yükseklik farkları klasik yersel sistemlerden biriyle ölçülebilir. Ancak duyarlı bir sonuç istenmesi durumunda hassas nivelman ya da geometrik nivelman yapılması daha uygundur. Hesaplamalarda, gravite ölçüleri kullanılarak jeofizik indirgemelerin yapılması jeoid ondülasyonlarını gerçek değerine daha da yaklaştıracaktır. Çalışma alanında jeoid belirleme için oluşturulmuş noktalarda ortalama 25.073 m olan GPS/Nivelman jeoid ondülasyonlarının maksimum değeri ile minimum değeri arasındaki fark 1.123 m'dir. Topografik yüksekliklerde ise maksimum ve minimum değerler arasındaki fark 390.732 m'dir.

Gravimetrik jeoid belirleme yöntemlerinde jeoid ondülasyonları bir global jeopotansiyel modele dayandırılarak hesaplanmaktadır. Gravimetrik jeoid belirlemede, değerlerinin elde edilmesinde kullanılan veri sayısı ve kalitesi bakımından en güncel konumda olan EGM96 jeopotansiyel modelin kullanılması en iyi sonucu verecektir. WGS84 EGM96 jeoidi topografik yüksekliğin arttığı durumlarda gerçek değer gibi kabul edilen GPS/Nivelman jeoidinden uzaklaşmaktadır. Bu durum da WGS84 EGM96 jeoidinin hassasiyet gerektiren uygulamalarda iyi sonuçlar vermeyeceği kanaatine ulaşılmıştır. Çalışma alanı için GPS/Nivelman jeoidi ile aralarında ortalama 0.415 m'lik bir fark görülmüştür. Her iki jeoid ondülasyonu arasındaki uyum enlem ve topografik yükseklik artışına göre değişim göstermektedir.

## KAYNAKLAR

1. Moritz H., 1980, "Advanced Physical Geodesy", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
2. Torge, W., 1980, "Geodesy", Walter de Gruyter, Berlin-New York.
3. Zhan J.Y, Yong Q.C., 1999, "Determination of Local Geoid with Geometric Method: Case Study", Journal of Surveying Engineering.
4. Leick, A., 1990, "GPS Satellite Surveying", John Wiley & Sons, Inc., New York.
5. Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., 1997, "GPS Theory and Practice", New York.
6. Turgut, B., İnal, C. Ve Yiğit, C. Ö., 2002, EGM96 Jeopotansiyel Modeli, TG99 Türkiye Jeoidi ve GPS/Nivelman ile Elde Edilen Jeoid Ondülasyonlarının Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim, Konya
7. NIMA, 1997, "Department of Defence World Geodetic System 1984", Third Edition, Technical Report, Maryland.