

TÜRKİYE TEMEL GRAVİTE AĞI 1956 (TTGA-56)'NİN YENİDEN DENGELENMESİ

Emin AYHAN
Coşkun DEMİR
Biro1 ALAS

ÖZET

1956-58 yıllarında iki Nörğgaard gravite ölçeri ile 24 havaalanı noktası arasında yapılan ölçüler indirgenmiş ve en küçük kareler dengelenmesi yapılarak TTGA-56 yeniden dengelenmiştir. TTGA-56'nın datumu, Potsdam gravite datum düzeltilmesi (14 mgal) getirilen Ankara noktasının gravite değeri sabit alınarak belirlenmiştir. TTGA-56 nokta gravite duyarlıklarının $\pm 0,07$ mgal ile $\pm 0,19$ mgal arasında değiştiği bulunmuştur.

ABSTRACT

The observations, carried out with two Nörğgaard gravimeters at 24 airport points in the period of 1956 and 1958 are reduced and then Turkish standardization Gravity Network 1956 (TTGA-56) is readjusted by least squares adjustment. The datum of TTGA-56 has been determined by fixing gravity value of the point Ankara and taking in to account Potsdam gravity datum correction (14 mgal). It is also determined that the percision of poingt in the network varies between $\pm 0,07$ mgal and $\pm 0,19$ mgal.

1. GİRİŞ

Türkiye Temel Gravite Ağı ile ilgili çalışmalar 1956-1960 yılları arasında tamamlanmış ve 24 havaalanı noktasından oluşan Türkiye Temel Gravite Ağı 1956 (TTGA-56) oluşturulmuştur. Noktalar arasında havayolu ile ulaşımı sağlanan TNK 325 ve TNK 468 nolu Nörğgaard gravite ölçerleri ile aynı anda ve çok değişik ölçü planlarında (ABBA, ABAB, ABCA,...) 59 bağlantı ölçüsü yapılmıştır (Ateş,1959). TTGA-56'da gravite datumunu belirlemek amacıyla Türkiye ve Almanya arasında oluşturulan bağlantı ağı 1960 yılında Harita Genel Komutanlığı ve AMS (A.B.D. Army Map Service)'nin ortak çalışmaları ile ölçülmüştür. Bu çalışmada havayolu ile taşınan iki Nörğgaard ve AMS tarafından sağlanan 616 ve 617 nolu worden gravite ölçerleri kullanılmıştır. Bağlantı ağı yalnızca worden ölçüleri ile AMS'de dengelenmiş ve TTGA-56'nın Ankara, İstanbul, Konya,

Eskişehir ve İzmir noktalarının Potsdam gravite datumunda değerleri belirlenmiştir. Ankara noktasının gravite değeri sabit alınarak 59 bağlantı ölçüsünden yararlar TTGA-56'nın diğer noktalarının halen kullanımda olan graviteleri hesaplanmıştır. Ancak sonraki yıllarda Potsdam gravite datumunun 14 mgal hatalı olduğu belirlenmiş ve TTGA-56 değerlerine bu düzeltme getirilerek Düzenlenmiş Potsdam Gravite Datumuna (hemen hemen IGSN71 (Uluslararası Standart Gravite Ağı 1971)'e Özdeştir) dönüşüm yapılmıştır. IGSN71'in Ankara'da beş noktası bulunmakta olup bu noktaların gravite değerleri doğrulukları ile birlikte Morelli,v.d.(1974)'de verilmektedir. Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG) üye ülkelerce kurulan ulusal gravite ağlarının IGSN71'e bağlanmasını önermektedir. Ancak ülkemizde bu bağlantı henüz gerçekleştirilmemiştir.

Gravite ölçerlerin ölçek kontrolü için önce İstanbul, Erzurum kalibrasyon bazı, daha sonra da halen kullanımda olan Ankara, Konya kalibrasyon bazı oluşturulmuştur. Bunun yanısıra diğer bazı kuruluşların oluşturduğu ve kendi gravite ölçerlerinin kalibrasyonunda kullandıkları kalibrasyon bazları da mevcuttur.

İkinci bölümde Nörngaard gravite ölçülerine getirilecek indirgemeler açıklandıktan sonra gravite ağ dengeleme modeli üçüncü bölümde verilmekte ve dördüncü bölümde ise TTGA-56 ile ilgili hesaplamalar sergilenmektedir.

2. ÖLÇÜLERİN İNDİRGENMESİ

Gravite ölçerlerle doğrudan gravite ölçmek yerine uzunluk ve zamana karşılık gelen bir skala değeri okunur. Skala okumasını graviteye dönüştürmek için aşağıda iki ana grupta toplanan indirgemeler uygulanır (AEM,1947; Kiviniemi, 1974; Groten, 1980; Groten v.d., 1983).

* Gravite ölçer yapısından kaynaklanan indirgemeler

- Skala sıfır ayarı
- Ölçek faktörü
- İç ısı düzeltmesi
- Drift
- Manyetik alan

* Fiziksel koşullardan kaynaklanan indirgemeler

- Gelgit
- Kutup gezinmesi
- Hava basıncı ve sıcaklık değişimi
- Yeraltı su seviyesi değişimi
- Yeryüzünde kitle dağılımındaki değişiklikler

Yukarıda sözü edilen indirgeme türlerinden Nörngaard gravite ölçerleri ile yapılan ölçülere skala sıfır ayarı, ölçek faktörü, iç ısı düzeltmesi, drift ve gelgit indirgemeleri uygulanmakta olup bunlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır. Diğer indirgemeler, Nörngaard gravite ölçerlerinin ölçü duyarlılığının altında değerlere ulaştığından burada ele alınmayacaktır.

a. Skala Sıfır Ayarı ve Ölçek Faktörü

Nörngaard gravite ölçeri, temel olarak bir sıvı içine yerleştirilen quarz bir çerçeveye iki ucundan quarz tel ile tutturulan hemen hemen yatay bir quarz sarkaçtan oluşur. Bu ölçer ile yapılan ölçülerle; önceden belirlenen bir T_0 çalışma sıcaklığına karşılık gelen g_0 gravite değerinden olan g_r gravite farkı,

$$g_r = \frac{1}{2} g_0 \frac{A^2}{L^2} m^2 - g_0 \frac{A^2 B}{L^3} m^3 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. (1) eşitliği

$$C = \frac{1}{2} g_0 \frac{A^2}{L^2} \quad (2)$$

$$D = g_0 \frac{A^2 B}{L^3} \quad (3)$$

kısaltmaları ile

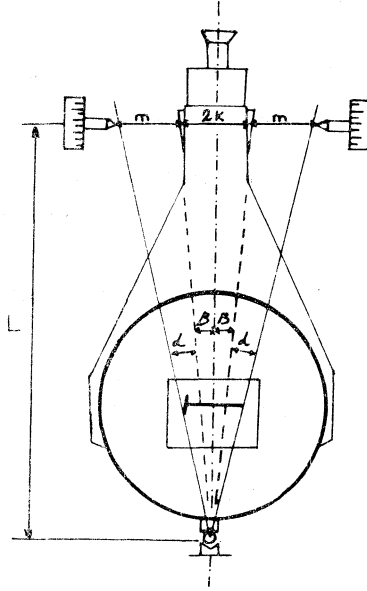
$$g_r = Cm^2 - Dm^3 \quad (4)$$

olarak yazılır. Burada A ve B katsayılar olup

$$A = \cos^2 \beta \quad (5.a)$$

$$B = \cos \beta \sin \beta \quad (5.b)$$

dir. (1) - (5) eşitliklerinde geçen terimler Nörngaard gravite ölçerin okuma düzeni ile ilgili olup şekil-1'de geometrik olarak gösterilmektedir. Burada m milimetre biriminde skala okuma değeri (s skala ayar düzeltmesi getirilmiş), g_0 mgal biriminde gravite, L ve K milimetre biriminde aletin yapısından kaynaklanan uzunluklardır (AEM, 1947). TNK 325 ve TNK 468 nolu Nörngaard gravite ölçerleri için 1956 şubat'ında AEM'de belirlenen alet sabiteleri tablo-1' de verilmektedir.



Şekil-1 : Nörsgaard Gravite Ölçer Okuma Düzeni

Tablo-1 : Nörsgaard Gravite Ölçer Sabiteleri

Alet No.	L (mm)	2K (mm)	S (mm)	A	B	C	D	g_o (mgal)
325	265.93	38.637	-0,745	0,99475	0,07226	6.8346	0,00403	979810
468	266.08	37. 67	-1. 46	0,99501	0,07043	6.8275	0,00396	979830

b. İç Isı Düzeltmesi

Alet iç ısısının T_o çalışma sıcaklığından farklı bir T sıcaklığında olması sonucu ölçü değerlerine g_T ısı düzeltmesi getirilir. Isı düzeltmesi her alet için farklı olup genellikle ikinci veya üçüncü dereceden bir fonksiyonla ifade edilir. Bu düzeltme T_o çalışma ısısının 20 C^o altı ve üstü arasında kalan ısılar için,

$$g_T = -k_1(T-T_o)^2 - k_2(T-T_o)^3 \quad (6)$$

genel eşitliği ile verilir. Isı düzeltmesi hesabını kolaylaştırmak için (6) ile verilen üçüncü derece fonksiyon, g_{T_a} çalışma ısısının altı ve $g_{T_{\ddot{u}}}$ çalışma ısısının üstü için iki ikinci derece fonksiyona ayrılır;

$$g_{T_a} \approx -k_a (T-T_a)^2 \quad (7)$$

$$g_{T_{\ddot{u}}} \approx -k_{\ddot{u}} (T-T_{\ddot{u}})^2 \quad (8)$$

Buradaki k_a ve $k_{\ddot{u}}$ katsayıları ile T_a ve $T_{\ddot{u}}$ çalışma ısıları deneysel belirlenir (AEM, 1947). Şubat 1956'da TNK 325 ve TNK 468 gravite ölçerleri için belirlenen ısı düzeltme fonksiyonları aşağıdadır.

TNK 325 için

$$\begin{aligned} -10.4 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 2.3 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = -3.14 + 0,38T \\ 2,3 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 14.2 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = -0,016 (14.2-T)^2 \\ 14.2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 31.4 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = -0,030 (T-14.2)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

TNK 468 için

$$\begin{aligned} -5.7 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 16.8 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = -0,025 (16.8-T)^2 \\ 16.8 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 18.0 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = 0 \\ 18.0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 37.9 \text{ } ^\circ\text{C} & \quad g_T = -0,032 (T-18.0)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

c. Drift

Gravite ölçülerinde zamana bağlı sürekli değişimler drift olarak bilinir. Drift gravite ölçerin yapımında kullanılan parçaların zamanla eskiyerek özelliklerini kaybetmesi, ani ısı değişimleri ve ulaşım sırasındaki sarsıntılardan kaynaklanır. Driftin en önemli özelliği zamana bağlı değişimi olduğundan, zaman değişkenli tek boyutlu bir polinom ile modellenir;

$$g(t) = g(t_0) + \sum_{i=1}^N d_i (t - t_0)^i \quad (11)$$

Burada $g(t)$ ve $g(t_0)$ sırasıyla t ve t_0 anlarında gravite, d_i bilinmeyen drift katsayıları ve N drift polinomunun derecesi olmak üzere, (11) eşitliği

$$g(t) = g(t_0) + D(t) \quad (11.a)$$

olarak da ifade edilir. $D(t)$ drift fonksiyonudur. t_1 ve t_2 anlarında ölçü yapılan iki nokta arasında ölçülen gravite farkı için $DD(\Delta t)$ drift fonksiyonu, (11.a) eşitliğinden yararlar

$$DD(\Delta t) = D(t_2) - D(t_1) = \sum_{i=1}^N d_i (t_2 - t_1)^i \quad (12)$$

ile oluşturulabilir (Morelli, v.d., 1974; Groten, v.d., 1983).

d. Gelgit Düzeltmesi

Bir P yeryüzü noktasında t anında yapılan gravite ölçüsündeki gelgit düzeltmesi (g_{ms})

$$g_{ms} = \delta (g_m + g_s) \quad (13)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada δ dünyanın elastik yapısından kaynaklanan global bir faktör, g_m ve g_s ise sırasıyla ay ve güneşin çekim etkileri olup

$$g_m = \frac{GM_m R}{d^3} (3 \cos^2 \theta - 1) + 1,5 \frac{GM_m R^2}{d^4} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \quad (14)$$

$$g_s = \frac{GM_s R}{D^3} (3 \cos^2 \rho - 1) \quad (15)$$

eşitlikleri ile bulunur. Burada G Newton çekim sabiti, M_m ayın kitlesi, M_s güneşin kitlesi, d dünya ile ayın merkezleri arasındaki uzaklık, D dünya güneş uzaklığı, θ ayın zenit açısı, ρ güneşin zenit açısı ve R gravite ölçü noktasının yerin merkezinden olan uzaklığıdır (Groten, 1981). Gelgit düzeltmesi hesabı yukarıda verilen formüllere uygun hazırlanan MED-CEZ isimli yazılım ile yapılmıştır. Bu yazılım ile herhangi bir noktada gelgit düzeltmesini hesaplamak için noktanın enlemi, boylamı ve ölçü zamanının giriş verisi olarak verilmesi yeterlidir.

3. DENGELEME

Gravite ağ dengelemesinde ölçü türüne, gravite ölçer türüne ve ölçerin bir noktadan diğerine ulaşım biçimine bağlı olarak farklı matematik modeller uygulanmaktadır (Morelli, v.d., 1974; Torge, v.d., 1975; Boedecker-Richter, 1981; Groten, v.d., 1983; Demirel, v.d., 1987). Göreli gravite ölçülerine uygun fonksiyonel modelde; doğrudan skala okuma değeri veya drift dü-

zeltmesi (bazı durumlarda ek olarak ölçek farkı) hariç diğer indirgemeler uygulanarak elde edilen gravite farkları ölçü alınabilir. Bu çalışmada, bir önceki bölümde açıklanan sıfır nokta ayarı, ölçek faktörü, iç ısı ve gelgit nedeniyle indirgenmiş gravite farkları, $g_{k\ell}$, ölçü olarak alındığında; noktaların gravite değerleri, (12) ile verilen drift fonksiyonu katsayıları ve bir gravite ölçerin diğerine göre doğrusal ölçek farkı λ , bilinmeyen seçilerek fonksiyonel model,

$$g_{k\ell} + V_{k\ell} = g_k - g_\ell + \sum_{i=1}^N d_i (t_\ell - t_k)^i + g_{k\ell} \lambda \quad (16)$$

ile yazılmaktadır. Burada $V_{k\ell}$, $g_{k\ell}$ ölçüsünün düzeltilmesi, g_k ve g_ℓ , k ve ℓ 'inci noktaların gravitesi, N drift polinomunun derecesidir. (16) eşitliğinde noktaların gravite değeri g yerine g^0 yaklaşık değeri ile δg küçültülmüş bilinmeyen toplamı yazılır.

ve $l_{k\ell} = g_k^0 - g_\ell^0 - g_{k\ell}$ kısaltılmış ölçüleri ile (16) eşitliği

$$l_{k\ell} + V_{k\ell} = \delta g_k - \delta g_\ell + \sum_{i=1}^N d_i (t_\ell - t_k)^i + g_{k\ell} \lambda \quad (16.a)$$

veya matris gösterimde

$$l + V = A x \quad (17)$$

ile fonksiyonel model oluşturulur. Burada l kısaltılmış ölçü vektörü, V düzeltme vektörü, A katsayılar matrisi ve x bilinmeyen vektördür. Dengelemenin stokastik modeli ölçülerin duyarlıklarından veya gravite ölçerin bir noktadan diğerine ulaşım türüne bağlı olarak belirlenir (Morelli, v.d., 1974; Torge, v.d., 1976; Maridis, v.d., 1983; Groten v.d., 1983). Burada ölçülerin duyarlıkları gözönünde bulundurularak stokastik model belirlenecektir. Gravite farkı ölçüleri arasında ölçü planından kaynaklanan -0,5 değerinde matematiksel korelasyon oluşmasına rağmen uygulamada bu korelasyon gözardı edilir ve stokastik model;

$$P = \sigma_o^2 \Sigma_{\ell\ell}^{-1} \quad (18)$$

alınarak dengelemenin matematik modeli belirlenir (Boedeker-Richter, 1981; Torge, 1989). Burada p ağırlık matrisi, σ_o^2 a priori varyans ve $\Sigma_{\ell\ell}$ ölçülerin varyans-kovaryans matrisi olup diyagonal bir matristir. Tüm noktaların gravite değeri bilinmeyen seçilerek (17) ve (18) eşitliğinin $V^T P V = \langle \min \text{koşulunu}$ sağlayan bir çözümü

$$\hat{x} = (A^T P A)^+ A^T P \ell \quad (19)$$

$$\hat{v} = A \hat{x} - \ell \quad (20)$$

$$Q_{\hat{x}\hat{x}} = (A^T P A)^+ \quad (21)$$

$$Q_{\hat{v}\hat{v}} = P^{-1} - A Q_{\hat{x}\hat{x}} A^T \quad (22)$$

ile bulunur. (19) ve (21) eşitliklerinde $(.)^+$ Moore-Penrose inversi, $Q_{\hat{x}\hat{x}}$ bilinmeyenlerin ağırlık tersi matrisi ve $Q_{\hat{v}\hat{v}}$ düzeltmelerin ağırlık matrisidir. A priori varyansın ümit değere sadık en iyi kestirimi $\hat{\sigma}_o^2$ ise

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{v}^T P \hat{v}}{n-u+d} \quad (23)$$

ile hesaplanır. Burada n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı ve d rank bozukluğudur. Ağda gravitesi belirli en az bir nokta olması durumunda (19) ve (21) eşitliklerinde $(.)^{-1}$ Cayley inversi kullanılıp aynı eşitliklerle çözüm bulunur (Koch, 1980).

Dengeleme sonrasında önce F-testi ve sonra data-snooping ve τ -testi uygulanarak uyumsuz ölçüler belirlenir. Gravite ağlarında uyumsuz ölçü testi ya ağın serbest dengelemesi sonrasında veya bir nokta sabit alınarak dayalı ağ dengelemesi sonunda uygulanabilir. Her ikisinde aynı sonucu vermektedir. Ölçüler arasındaki uyumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra drift ve ölçek bilinmeyenlerinin anlamlı olup olmadıkları irdelenir. Bu amaçla sıfır hipotezi,

$$H_o : E \{ Z_i \} = 0 \quad i = 1, 2, \dots \quad (24)$$

Z_i : Drift veya ölçek bilinmeyenidir.

ve alternatif hipotez

$$H_a : E \{ Z_i \} \neq 0 \quad (25)$$

seçilir. Sıfır hipotezini test etmek amacıyla,

$$T = \frac{\hat{z}_i^2}{\hat{\sigma}_o^2 q_{\hat{z}_i \hat{z}_i}} \quad (26)$$

ile tanımlanan T test büyüklüğünün F dağılımında olup olmadığı

$$T < F_{1-\alpha;1,n-u} \quad (27)$$

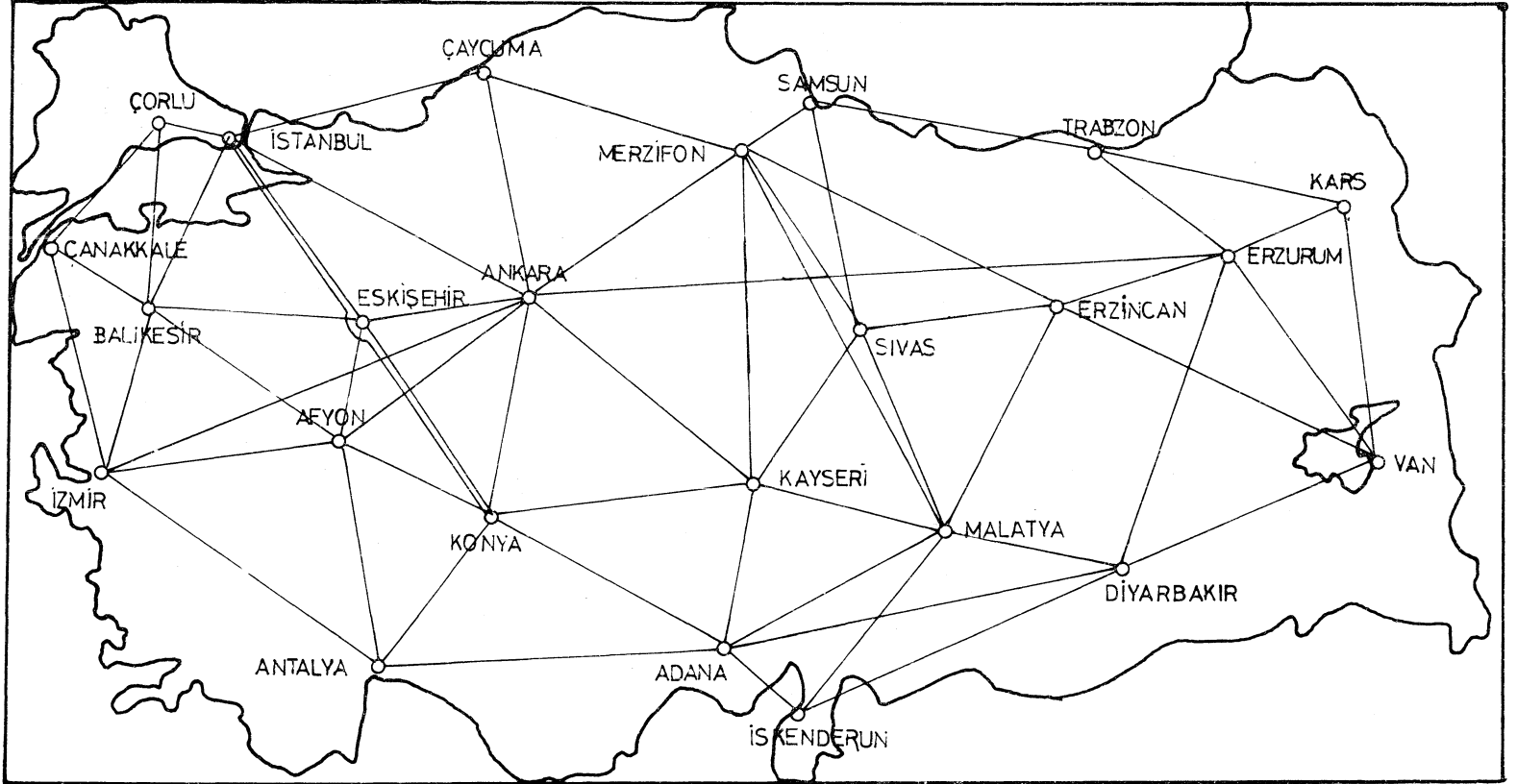
eşitsizliği ile test edilir. Burada $(1-\alpha)$ istatistik güven, 1 , $(n-u)$ serbestlik dereceleri ve $F_{1-\alpha;1,n-u}$ F dağılımının kritik değerini gösterir. (27) ile verilen eşitsizliğin sağlanması durumunda sıfır hipotezi (H_0) kabul edilir. Diğer bir deyişle Z_1 bilinmeyen istatistiksel olarak anlamsızdır (Koch, 1980). Drift ve ölçek bilinmeyenlerinden anlamsız bulunanlar modelden çıkarılarak, dengeleme, uyumsuz ölçü testi ve bilinmeyenlerin anlamlılık testi yenilenir. Bu işleme anlamlı drift ve ölçek bilinmeyenleri belirleninceye kadar devam edilir (LGR, 1982).

4. SAYISAL UYGULAMA

Birinci bölümde kısaca açıklandığı gibi TTGA-56'nın havaalanlarında seçilen 24 noktası arasında bağlantı ölçüleri TNK 325 ve TNK 468 Nörngaard gravite ölçerleri ile yapılmıştır. Ağda 59 bağlantı bulunmakta olup bu bağlantılar aynı anda iki aletle toplam 70 grupta ölçülmüştür (Şekil-2). Her grup en az iki veya daha fazla sayıda nokta arasında değişik ölçü planlarında yapılan gravite ölçülerini içermektedir. Bir noktada alet kurulduğunda; skala değeri, iç ısı ve zaman okunmaktadır. Ölçüler grup grup bilgisayar ortamına aktarılmış ve ikinci bölümde sözü edilen sıfır noktası ayarı, ölçek faktörü, iç ısı ve gelgit nedeniyle indirgenmiştir. Her grupta, aynı aletle ölçülerek indirgenmiş gravitelerin farkı ile $g_{k\ell}$ ölçüsü hesaplanmıştır. Nörngaard gravite ölçerleri ile gravite farklarının $0.2 - 0.4$ mgal doğrulukta ölçülebildiği NGK(1950) ve Torge (1989)'da belirtilmektedir. TTGA-56'daki ölçülerin duyarlılığı konusunda ön bilgi elde etmek amacıyla 24 nokta arasında 36(L) loop oluşturulmuş ve w loop kapanmalarından

$$\sigma_o^2 = \frac{\sum_{i=1}^L w_i^2}{3 L} \quad (28)$$

Ferraro eşitliği ile a priori varyans hesaplanmıştır. Bu hesaplamada iki nokta arasındaki gravite farkı, bu fark için elde edilen değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. (28) eşitliği ile TNK 325 ve TNK 468 gravite ölçerlerin a priori standart sapmaları sırasıyla $\pm 0,0395$ mgal ve $\pm 0,551$ mgal bulunmuştur. Bu hesaplarda kullanılan gravite farklarına drift düzeltmesi getirilmediğinden bu değerlerin büyük bulunduğu düşünülmüş ancak Torge (1989)'de verilen duyarlığa yakın olduklarından anlamlı olduklarına karar verilmiştir.

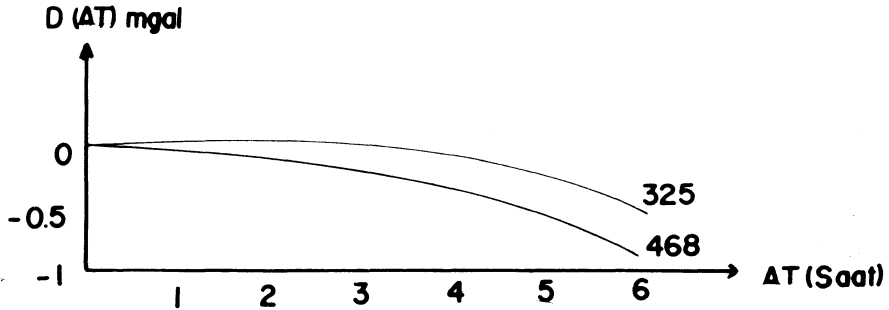


Şekil-2 : Türkiye I. Derece Gravite Ağı

TNK 325 ve TNK 468 ile yapılan ölçülerin öncelikle ayrı ayrı tanı dengelemeleri ile uyumsuz ölçü testi ve parametre testinin yapılması, daha sonra da her iki alet ile yapılan ölçülerin birleştirme dengelemesi ile topluca değerlendirilmesi düşünülmüştür.

24 Nokta arasında 59 bağlantıda 227 gravite farkı ölçüsü bulunmaktadır. Her iki alet için ölçüler, noktaların gravite değerleri ve drift fonksiyonu parametreleri bilinmeyen seçilerek serbest ağı dengelemesine göre (19)-(23) eşitlikleri ile dengelenmiştir. Dengelemede ölçüler eşit ağırlıklı, korelasyonsuz ve apriori varyans (27) ile bulunan değere eşit alınmış, drift polinomu başlangıçta 3 ncü dereceden seçilmiştir. Dengeleme sonunda F testi ile uyumsuz ölçü testi yapılmış ve uyumsuz ölçülerin tamamı ayıklandıktan sonra drift polinomu bilinmeyen katsayılarının anlamlılık testi yapılmıştır. Bu işleme uyumsuz ölçü kalmayana ve anlamlı drift polinomu katsayıları elde edilene kadar devam edilmiştir. Hesaplamalar sonunda TNK 325 ölçülerinden 5 tanesi ve TNK 468 ölçülerinden 15 tanesi uyumsuz bulunup atılmış ve her iki alet için ikinci dereceden driftin geçerli olduğu bulunmuştur. Gravite ölçerler için bulunan drift fonksiyonu şekil-3'de gösterilmekte olup drift polinomu bilinmeyenleri aşağıda verilmektedir.

TNK 325 için	$\hat{d}_1 = 0,1201$	$\pm 0,031$ mgal/saat
	$\hat{d}_2 = -0,0335$	$\pm 0,009$ mgal/(saat) ²
TNK 468 için	$\hat{d}_1 = -0,0238$	$\pm 0,005$ mgal/(saat) ²



Şekil-3 : Drift Polinomları

Her iki alet ile yapılan ölçülerin ayrı dengelemesi sonunda TNK 325 ve TNK 468 için a posteriori varyanslar sırasıyla 0,197 mgal² ve 0,402 mgal² bulunmuştur.

Yukarıda açıklanan ve her iki alet ile yapılan ölçülerin ön incelemesi niteliğindeki tanı dengelemeleri sonunda elde edilen toplam 432 ölçünün topluca dengelenmesi gerekmektedir. Bu işlem her alet için ayrı yapılan çözümlerde bulunan gravite değerlerinin varyans-kovaryans matrislerini göz önünde tutan birleştirme dengelemesi matematik modeli ile yapılabilir (Öztürk, 1987). Bu çalışmada tanı dengelemesi sonunda oluşturulan toplam 432 ölçünün (16) eşitliği ile verilen fonksiyonel model ile dengelemesi düşünülmüştür. Her iki alet ile yapılan ölçülerin tanı dengelemesi sonunda bulunan a posteriori varyanslar farklıdır. Ölçü ağırlıkları gravite ölçerlerin bir noktadan diğerine ulaşım türü gözönünde tutularak belirlenebilir (Torge v.d., 1976; Groten, v.d. 1983). Ancak tüm ölçüler havayolu ile taşınan gravite ölçerler ile yapılmış olduğundan ağırlıklar, her alet ile yapılan ölçüler kendi içerisinde eş ağırlıklı olmak üzere TNK 325 ile yapılan ölçüler için

$$p = \frac{0,197}{0,197} = 1$$

ve TNK 468 ile yapılan ölçüler için

$$p = \frac{0,197}{0,402} = 0,49$$

alınmıştır.

(16) modeli ile gravite ölçerler arasında ölçek farklılığı olup olmadığı araştırılabilir. TTGA-56 ölçüleri daha başlamadan önce Türkiye'de yedi noktada sarkaç ile gravite ölçüleri yapılmıştır. İstanbul ve Erzurum arasında sarkaç ölçüleri ile bulunan gravite farkı, TNK 325 ve TNK 468 ile bulunan gravite farkları ile karşılaştırıldığında oransal doğrulukları sırasıyla 0,00038 ve 0,00219 hesaplanmıştır. (Ateş, 1959). Ayrıca 1960 yılında Worden ve Nörngaard gravite ölçerleri ile yapılan Postdam Gravite Datumu bağlantı ölçülerinde gravite farkları karşılaştırıldığında TNK 325 ve TNK 468 için sırasıyla 0,00083 ve 0,013'oransal doğruluklar bulunmuştur. Bu değerlendirmeler ile TNK 325'in ölçek hatasının TNK 468'e göre küçük olduğu sonucuna varılarak TNK 468 gravite ölçerinin TNK 325 gravite ölçerine göre ölçek farkının belirlenmesine karar verilmiştir.

Ağın ölçek kontrolü ve datumunun belirlenmesi için yeterli doğruluğa sahip en az iki mutlak gravite ölçüsüne veya IGSN71 noktasına ihtiyaç vardır. Ancak bu amaçla kullanılabilecek mutlak gravite ölçüsü ülkemizde henüz yapılmamıştır.

Ayrıca IGSN71'in ülkemizde mevcut beş noktasından yalnızca 14192M numaralı olanı TTGA-56'nın Ankara noktasıyla özdeştir. Bu nedenle ağın doğru biçimde ölçek kontrolünü yapmak olanaklı değildir. Datum belirlemek için 14192 M numaralı ve $\pm 0,026$ mgal duyarlıklı IGSN71 noktasının kullanılabilmesi düşünülmüştür. Bilindiği gibi potsdam datumunu IGSN71'e dönüştürebilmek için 14 mgal lik bir düzeltme getirilmesi, ancak bu düzeltmenin doğrusal olmayabileceği belirtilmektedir (Morelli,v.d., 1974). Dünyanın değişik coğrafi bölgelerinde bu düzeltmenin geçerli olup olmadığını kontrol etmek için araştırmalar sürdürülmektedir. Goodacre,v.d.(1991)'de Kanada'da yapılan mutlak gravite ölçüleri 14 mgal düzeltmeyi doğrulamasına rağmen Wollard (1979)'da bu düzeltmenin $\pm 1-2$ mgal doğrulukta ve 14.7 mgal olduğu belirtilmektedir. TTGA56'yı Potsdam Gravite Datumuna bağlamak amacıyla 1960'da yapılan ölçülerle bulunan Ankara havaalanı noktasının gravitesi ile 14192 M numaralı IGSN71 noktasının gravite değeri arasında ise 15.61 mgal fark bulunmaktadır. Birbiri ile çelişki halinde olan bu bilgiler incelendiğinde ülkemizde gravite datumunu belirlemek için en uygun çözümün birkaç mgal doğrulukla mutlak gravite ölçüleri olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut koşullarda ise; datumun, Ankara havaalanı noktasının Potsdam gravite datumundaki gravitesine Morelli, v.d.(1974)'de önerilen 14 mgal düzeltme getirilerek bulunan değeriyle belirlenmesine karar verilmiştir.

Ankara noktası bilinen kabul edilerek tüm ölçüler dengelenmiş ve TTGA-56 noktalarının yeni hesaplanan graviteleri ile halen kullanımda olan değerleri arasında $-0,21$ mgal; $+0,43$ mgal farklar bulunmuştur. Birim ağırlıklı ölçünün a posteriori varyansı $0,205$ mgal², kesin gravitelerin duyarlılığı $\pm 0,07$ mgal; $\pm 0,19$ mgal arasında ve kesin ölçülerin standart sapmaları ise $\pm 0,1$ mgal; $\pm 0,2$ mgal arasında değiştiği belirlenmiştir. TNK 325'e göre TNK 468 gravite ölçülerinin ölçek farkı

$$\lambda = -1.507 \times 10^{-6} \pm 0,2 \times 10^{-6} \quad \text{ve (27) eşitsizliği ile yapılan}$$

$$\text{İstatistik testle } T = 39.43 > F_{0,95; 1,407} = 3.864 \text{ bulunmuştur.}$$

Bu nedenle bu iki gravite ölçer arasında anlamlı ölçek farkı olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

1956-58 yıllarında Nörğaard gravite ölçerleri ile 24 havaalanı noktası arasındaki ölçülerin indirgeme ve dengelemesi yeniden yapılarak TTGA-56 oluşturulmuştur. Bu ağda nokta gravite değerleri $\pm 0,07; \pm 0,19$ mgal doğrulukta bu-

bulunmuş ve halen kullanımda olan gravite değerlerinin $-0,21$; $+0,43$ mğal arasında değiştiği belirlenmiştir. TTGA-56 noktalarının bu doğruluğu, bu noktalar arasında sıklaştırılan nokta değerlerinin düşük doğrulukta olduğunu göstermektedir.

TTGA-56 datumunu belirlemek için yapılan incelemede IGSN71 ile Potsdam Datumu arasında $15,61$ mğal fark bulunmuştur. Bu fark için önerilen değer 14 mğal olduğundan ikisi arasındaki $1,61$ mğal farkın araştırılması gerekli görülmektedir. IGSN71 ve Potsdam datumu ile ilgili önceki cümlede belirtilen kuşklar bulunduğundan TTGA-56 datumunun $0,01$ mğal ve altında doğrulukta mutlak gravite ölçüleri ile yeniden belirlenmesi faydalı olacaktır.

Türkiye'de değişik kuruluşlarca gravite ölçüsü yapılmakta ve her kuruluş ölçülerde farklı standartlar uygulanmaktadır. Bunun en belirgin örneği ülkemizde jeodezi ve jeofizik kamuoyunda kabul görmüş bir kalibrasyon bazı bulunmayışı ve kuruluşların kendi kalibrasyon bazlarında gravite ölçülerini kalibre etmeleridir. Bu nedenle öncelikle en az iki noktada mutlak gravite ölçüsü yapılarak standart kalibrasyon bazının kurulması ve ölçme ve hesaplamalara standardizasyon getirilmesi gereklidir.

Günümüzde jeodezik amaçlarla $0,1$ mğal jeodinamik amaçlarla $0,01$ mğal ve altında doğrulukta gravitenin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mutlak ve görel gravite ölçülerinin doğrulukları zaman içinde büyük gelişme göstermiş ve mutlak gravite ölçülerinde $0,01-0,001$ mğal ve görel gravite ölçüsünde $0,01-0,0001$ mğal duyarlılığa ulaşılmıştır (Torge, 1989). TTGA-56'nın $\pm 0,07$; $\pm 0,19$ mğal doğrulukta olduğu, jeodezi ve diğer bilimlerin gravite ölçülerinden beklentileri ve TTGA 56'nın ölçek ve datumu ile yukarıda açıklanan gerçekler gözönünde tutularak; ülkemizde değişik kuruluşların elinde bulunan $0,01$ mğal doğruluklu gravite ölçerler ile TTGA-56 ölçülerinin yenilenmesi ve en az iki noktada $0,01$ mğal veya daha iyi doğrulukta mutlak gravite ölçülmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Aktiebolaget Elektrisk : Description and Directions for use of the
Malmletning (AEM) Nörsgaard Gravimeter, No.325, Stockholm, 1947.
- /2/ Arabelos, D., : Establishment of a high-precision gravity net-
Karrinti, J.M., work in the area of Eastern Macedonia, IUGG
Mavridis, L.N. XVIII th General Assembly, Hamburg, 1983.
- /3/ Ateş, T. : Gravitasyon ve Türkiye Gravimetrik Çalışmalar-
rı. Harita Dergisi, Sayı 58, sf.15-70, 1959.
- /4/ Boedecker, G., : The new gravity base net 1976 of the Federal
Richter, B. Republic of Germany (DSGN76). Bull, Geod., Vol.
55, pp.250-266, 1981
- /5/ Demirel, H., Becker, M., : Kuzey Anadolu Fay hattının Yeniçağ Kesiminde
Groten, E., Aksoy, A. Mikro-Gravimetri Ölçüleri ve ilk Değerlendirmeler. I nci Harita Bilimsel ve Teknik Kurul-
tayı, Ankara, 1987.
- /6/ Goodacre, A.K., Liard, J.O., : Absolute gravity measurements on the Canadian
Courtier, P.N., Cooper, R.V., gravity standardization Network. Bull. Geod.,
Winter, P.J., Vol.65, No.3, pp.170-178, 1991.
McConnell, R.K.
- /7/ Groten, E. : Geodesy and the Earth's Gravity Field. Vol. II,
Dümmeler, Bonn, 1980.
- /8/ Groten, E., Becker, M., : Report on High Precision Gravimetry. Vol. II,
Dragert, H., Lambert, A., Informations relative to Cartography and
Kanngieser, E., Richter, B. Geodesy, Verlag des IfAG, Frankfurt A.M,
Makiner, J., Woodward, D., 1983
- /9/ Kiviniemi, A. : High precision measurements for studying the
secular variation in Gravity in Finland. The
Finnish Geodetic Institute, No.78, Helsinki, 1974
- /10/ Koch, K.R. : Parameter Estimation and Hypothesis Testing in
Linear Models Dümmeler Verlag, Bonn, 1980.
- /11/ LGR : The Delft approach for the Design and Computa-
tion of Geodetic Networks Forth years of though
Vol.1, pp.202-274, 1982.

- /12/ Marson, I. Morelli, C. : First order Gravity net in Italy. Bol. di Geod. e Sci. Aff., Dno XXXVI, No. 4., pp. 659-689, 1978.
- /13/ Morelli, C., Ganter, C., : The International Gravity Standardization Honkalo, T., Tanner, J. G., Net, 1971 (IGSN71)., Spec. Publ. No-4, IAG, 1974
McConnell, R. K., Szabo, B.,
Votila, U., Whalen, C. T.,
- /14/ Norske Gradmalings : Gravity Comparisons, 1950.
Kommission (NGK).
- /15/ Öztürk, E. : Dengeleme Hesabı I. KTÜ. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 1987.
- /16/ Torge, W. : Geodesy. Walter de Gruyter. Berlin, 1980.
- /17/ Torge, W. : Gravimetry. Walter de Gruyter, Berlin, 1989
- /18/ Torge, W., Mavridis, L. N., : Establishment of a high precision gravity
Drewes, H., Arabelos, D. network in the Eastern Mediterranean. IUGG,
XVIth General Assembly, Grenoble, 1975.
- /19/ Woollard, G. P. : The new gravity system-changes in international gravity base values and anomaly values. Geophysics, Vol. 44, No. 8, pp. 1352-1366, 1979.