

KUZAY KIBRIS TÜRK CUMHURİYETİ
ULUSAL GRAVİTE AĞI'NIN (KUGA-2001) OLUŞTURULMASI

(ESTABLISHMENT OF THE NATIONAL GRAVITY NETWORK-2001 OF TURKISH
REPUBLIC OF NORTHERN CYPRUS)

Ali KILIÇOĞLU
Orhan FIRAT

ÖZET

Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) Ulusal Gravite Ağı'nın oluşturulması projesi kapsamında Türkiye Ulusal Gravite Ağı'nın, ikisi aynı zamanda mutlak gravite noktası olan üç noktasından (ANKARA, KONYA, GÜVERCİNLİK) yararlanarak KKTC Ercan Havaalanı'nda seçilen bir noktaya havayolu ile gravite değeri taşınmıştır. Yapılan göreceli gravite ölçülerinde iki adet La Coste & Romberg G-model gravimetre (G-347 ve G-379) kullanılmıştır. Sekiz noktadan oluşan KKTC Ulusal Gravite Ağı'nın (KUGA) oluşturulmasında Ercan Havaalanı'nda tesis edilen nokta başlangıç (datum) olarak alınmıştır. KUGA'ya dayalı olarak, homojen dağılmış 105 yatay kontrol ağı noktasında bölgesel gravite ölçüsü yapılmıştır.

Yapılan göreceli ölçülerin değerlendirilmesinde, ilk aşamada okuma değerleri her bir alet için üretici firma tarafından belirlenmiş olan katsayı tabloları kullanılarak gravite değerlerine çevrilmiş ve bu değerlere gel-git düzeltmesi getirilmiştir. İkinci aşamada drift etkisi (gravimetrelerdeki zamana bağlı değişim) düzeltilmiştir. Son olarak, gel-git ve drift düzeltmesi getirilmiş ölçülerin dengelemesi yapılmıştır. Yapılan dengelemenin ana unsurlarını; ölçüler (ölçülen bazlardaki gravite ölçü farkları), bilinmeyen parametreler (nokta gravite değerleri ve her bir gravimetre için ölçek parametresi) ve ağın datumunu belirlemek için kullanılan bilinen parametreler (sabit ve hatasız alınan ANKARA ve KONYA noktalarının gravite değerleri) oluşturmaktadır. Nokta gravite değerlerinin dengeleme sonrası standart sapmaları 0.01 mGal ile 0.05 mGal arasında değişmektedir.

ABSTRACT

Within the project of establishment of the National Gravity Network of Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC), gravity value was transferred by airway to a selected benchmark at the Ercan airport in TRNC with respect to the three Turkish National Gravity Network points (ANKARA, KONYA, GÜVERCİNLİK), two of which are absolute gravity points as well. Two G-model La Coste & Romberg gravity meters (G-347 ve G-379) were used for relative gravity observations. The benchmark at Ercan airport was selected as starting point (datum) for establishment of TRNC National Gravity Network (NGNT), consisting eight gravity points. Regional gravity measurements were carried out at homogeneously distributed 105 horizontal control network points, based on NGNT.

During the process of the relative gravity measurements, at the first step, readings were converted into gravity values by using the constant tables, which were provided for each gravity meter by the manufacturer, and gravity values were corrected due to tide correction. At the second step, gravity values were corrected due to drift effect (the change in gravity meters caused by time). At last, the measurements, which were corrected for tide and drift effects, were adjusted. Measurements (the gravity differences on the measured bases),

unknown parameters (gravity values of the benchmarks and scale parameter for each gravity meter) and known parameters that were used to determine the datum of the network (gravity values of the ANKARA and KONYA benchmarks, fixed and errorless) are the main components of the adjustment. The standart deviations of the point gravity values after adjustment, vary between ± 0.01 mGal and ± 0.05 mGal.

1. GİRİŞ

Yer gravite alanının KKTC jeodezik temel ağlarına katkısının sağlanabilmesi amacıyla KKTC bölgesinde yerel gravite alanının belirlenmesine ihtiyaç vardır. Gravite alanının belirlenmesi genel olarak yeryüzünde yapılan ölçülerden yararlanarak gravite alanına bağlı büyüklüklerin hesaplanabilmesi için model ve yöntemlerin geliştirilmesi olarak anlaşılmaktadır. Yerel gravite alanının belirlenmesi için temel koşul yeryüzünde yeterli sıklık ve dağılımda gravite ölçülerinin yapılması ve bu noktaların belirli bir koordinat sisteminde koordinatlarının belirlenmesidir. Bu çalışmada KKTC yerel gravite alanının belirlenebilmesi ve temel jeodezik ağlar için gerekli olan ve yer gravite alanına bağlı olan büyüklüklerin türetilmesi için temel teşkil edecek Ulusal Temel Gravite Ağı'nın oluşturulması amaçlanmaktadır. Oluşturulan temel ağ ortalama 100 km² 'de bir nokta olacak şekilde sıklaştırılmıştır.

Ölçülerden yer gravite alanının belirlenebilmesi için ölçü noktalarının belirli bir koordinat sisteminde enlem, boylam ve yüksekliklerine ihtiyaç vardır. Ek ölçü yapmaktan kaçınmak amacıyla gravite noktaları KKTC yatay kontrol noktaları ile çakışık seçilmiştir.

Ülke boyutuna dağılmış nokta gravite değerleri kullanılarak yerel gravite alanı modellendirilebilir. Böylece; gravite predikasyonu, ortometrik yükseklik belirleme, jeoid belirleme, yer kabuğunun modellenmesi, maden arama ve gravite alanı ile ilgili diğer jeofizik yöntemlerin uygulanabilmesi sağlanacaktır. Bu nedenle bu çalışmadan sonraki adımda yerel gravite alanının modellenmesi gereklidir.

2. GRAVİTE ÖLÇÜ ÇALIŞMALARI

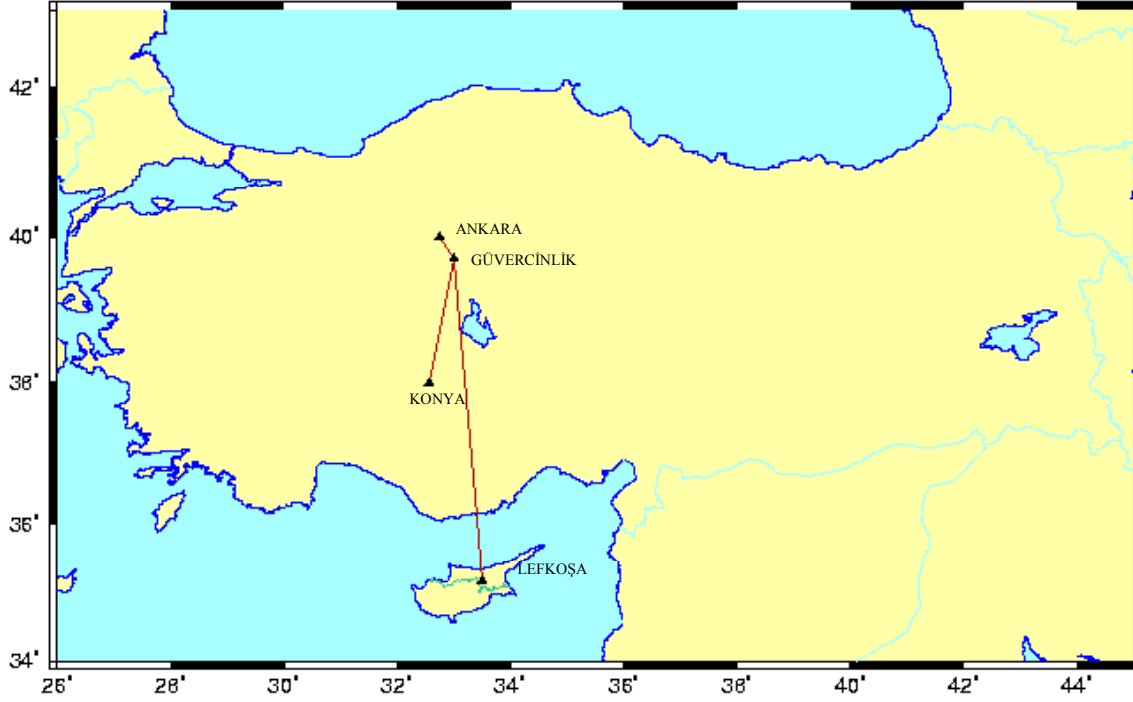
a. KKTC Ulusal Gravite Datumu'nun Belirlenmesi

KKTC Ulusal Gravite Datumu'nu oluşturmak amacıyla Türkiye Ulusal Gravite Ağı'nın ANKARA(007), KONYA(008) ve GÜVERCİNLİK(148) noktaları ile KKTC'nde LEFKOŞA/ERCAN(700) noktalarından oluşan ağda görelî gravite ölçüleri yapılmıştır /1/. Türkiye – KKTC gravite bağlantı ağı noktalarından olan KONYA ve ANKARA noktaları mutlak gravite noktaları olup, aynı zamanda Türkiye gravite kalibrasyon bazının uç noktalarıdır ve bu çalışmada ölçü aletlerinin kontrolünün yanısıra gravite ağ dengelemede bilinen gravite noktaları olarak kullanılmıştır/6,8/.

İlk olarak; Türkiye gravite kalibrasyon bazında ölçüler gerçekleştirilmiş ve GÜVERCİNLİK noktası bazın her iki ucundaki KONYA ve ANKARA noktalarına bağlanmıştır. Daha sonra GÜVERCİNLİK ile KKTC gravite datum noktası olan LEFKOŞA/ERCAN arasındaki ölçüler, iki adet La Coste & Romberg G-model (G-347 ve G-379) gravimetre ile aynı noktada ölçü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ağda uygulanan ölçü planı Tablo-1'de, noktaların yaklaşık konumları Şekil-1'de verilmektedir. GÜVERCİNLİK, KONYA ve LEFKOŞA arasındaki ulaşım havayolu ile, ANKARA-GÜVERCİNLİK arasındaki ulaşım ise karayolundan sağlanmıştır.

Tablo-1: KKTC Ulusal Gravite Datumu'nun belirlenmesinde uygulanan ölçü planı

25 Nisan 2001	:	GÜVERCİNLİK - ANKARA-GÜVERCİNLİK (Karayolu)
	:	GÜVERCİNLİK – KONYA – GÜVERCİNLİK (Havayolu)
26 Nisan 2001	:	GÜVERCİNLİK – LEFKOŞA (Havayolu)
27 Nisan 2001	:	LEFKOŞA – GÜVERCİNLİK (Havayolu)
28 Nisan 2001	:	GÜVERCİNLİK – KONYA – GÜVERCİNLİK (Havayolu)



Şekil-1 : Türkiye ile KKTC arasında Gravite Bağlantı Ölçüleri

b. KKTC I nci Derece ve II nci Derece Gravite Ağı'nın Oluşturulması

KKTC Ulusal Gravite Ağı, KKTC gravite datum noktası LEFKOŞA/ERCAN noktasından yararlar, KKTC'nde seçilmiş dört adet I nci derece nokta ve dört adet II nci derece noktadan oluşan ağda görece gravite ölçüleri yapılarak oluşturulmuştur. KKTC gravite datum noktası (LEFKOŞA/ERCAN) ile ağdaki dört adet I nci derece gravite nokta ile dört adet II nci derece gravite noktasının konumları Şekil-2'de verilmektedir.

İlk olarak daha önceden I nci ve II nci derece gravite noktası tesisi için tespit edilmiş olan yerleşim yerlerinde keşif çalışması yapılmış ve ilgili talimat esaslarına uygun yerler belirlenmiştir. Belirlenen yerlerde, gravite noktaları zemine yerleştirilen bir bronz ile tespit edilmiş olup, nokta yerlerinin uzun süre tahrip olmayacak yerler olması göz önünde tutulmuştur. Yükseklik değişimlerini kontrol edebilmek ve gerekli düzeltmeleri yapabilmek amacıyla I nci derece noktalar için iki adet, II nci derece noktalar için ise bir adet yükseklik röperi tesis edilmiştir /3/. I nci derece gravite noktalarına gravite değeri taşınması; LEFKOŞA/ERCAN noktasından başlayıp yine aynı noktaya dönülmek suretiyle gidiş-dönüş şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her noktada, ölçümler arasında en az 15 (on beş) dakika olmak kaydıyla, üç kez ölçü yapılmıştır.

II nci derece gravite noktalarına gravite değeri taşınması ise, LEFKOŞA/ERCAN noktasından başlayıp yine aynı noktaya dönülmek suretiyle gidiş-dönüş şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her noktada, ölçümler arasında en az 10 (on) dakika olmak kaydıyla, iki kez ölçü yapılmıştır.



Şekil-2 : KKTC Ulusal Gravite Ağı Noktaları

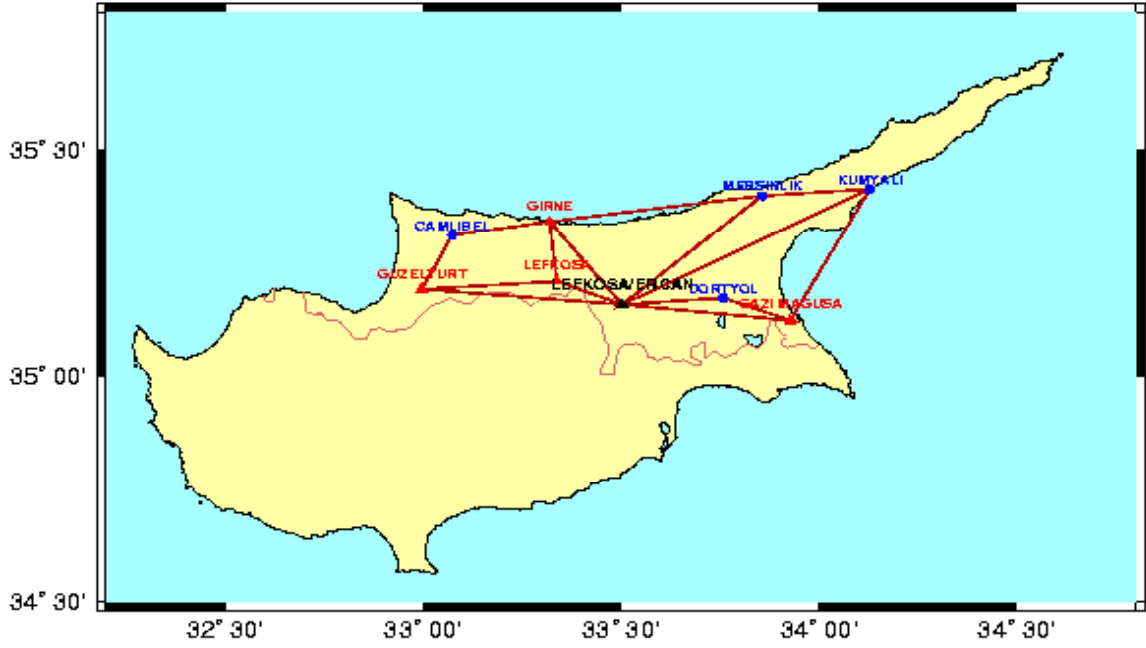
Bununla birlikte, bölgesel gravite ölçüsü yapılan günlerde, I nci ve II nci derece noktalar arasında ilave ölçüler yapılmıştır. Ölçüler sonucunda oluşan ağ Şekil-3'te verilmektedir.

c. Bölgesel Gravite Ölçmeleri

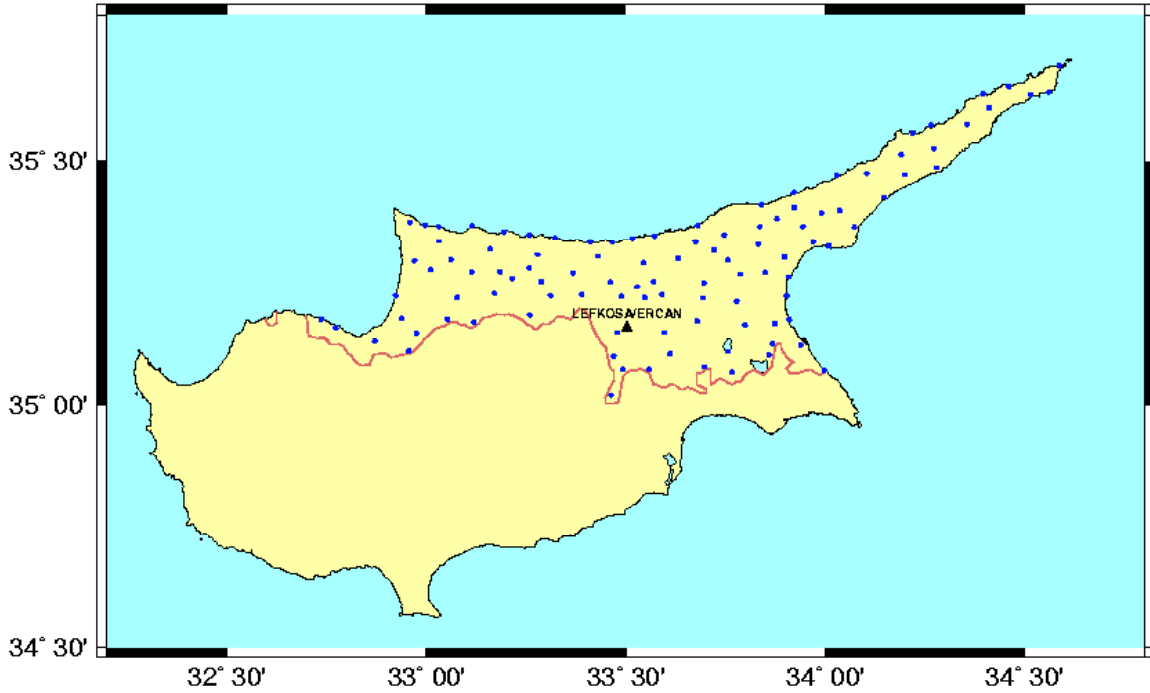
Gravite alanının belirlenmesi için gravite ölçüsü yapılan noktaların dağılımlarının iyi olması yanında enlem (③), boylam (②) ve yüksekliklerinin (h) belirli bir koordinat sisteminde yeterli duyarlılıkta belirli olması gerekmektedir. Ülke yatay kontrol ağı noktaları bu ihtiyaçlara cevap verdiği için, bölgesel gravite noktaları seçilen yatay kontrol noktaları ile çakışık seçilmiştir.

Bölgesel gravite ölçüsü yapılacak noktalar, 100 km²'de en az bir nokta olacak şekilde seçilmiştir. Seçim kriterine uyan ve koordinatları duyarlı şekilde belirlenmiş toplam 105 KKTC Ulusal Yatay Kontrol Ağı noktasında (12 I nci derece, 55 III ncü derece , 38 IV ncü derece nirengi noktası) bölgesel gravite ölçüsü yapmak üzere belirlenmiştir.

KKTC bölgesel gravite ölçmeleri, seçilen nirengi noktalarında, tesis edilmiş olan dört adet I nci derece ve dört adet II nci derece KKTC Ulusal Gravite Ağı noktasından yararlar, görelî gravite ölçüleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçmeler, gravite ağı noktalarından birinden başlayıp, bölgesel gravite ölçmeleri yapıldıktan sonra tekrar aynı ya da farklı bir gravite ağı noktasına dönmek şeklinde bir yol izlenerek gerçekleştirilmiştir (Basit profil yöntemi) /3/. Her noktada bir kez ölçü yapılmıştır. Sözkonusu 105 noktanın konumları Şekil-4'te verilmektedir.



Şekil-3 : I nci ve II nci Derece Noktalar Arasında Yapılan Ölçüler



Şekil-4 : Bölgesel Gravite Ölçüsü Yapılan Nirengi Noktaları

3. DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

Gravite ölçülerinin değerlendirilmesinde öncelikle okuma değerleri, her alet için üretici firma tarafından belirlenmiş olan katsayı tabloları kullanılarak gravite değerlerine çevrilmiş olup, gravite değerleri elde edildikten sonra bu değerlere gel-git düzeltmesi getirilmiştir. Bu aşamadan sonra elde edilen gravite değerleri indirgenmiş gravite ölçüleri ($\Delta\lambda g_{ij}^r$) olarak isimlendirilmektedir/4/.

Sonraki aşamada uzun kullanımdan dolayı gravimetrelerin yaylarının özelliğini zamana bağlı olarak yitirmesi, yayda meydana gelen ani sıçramalar ve ulaşımdan kaynaklanan sarsıntıların etkisiyle ortaya çıkan zamana bağlı değişim (drift) hatasının giderilmesi gerekmektedir. Bu işlem, her ölçü günü için ayrı olarak bulunan bir drift katsayısı ile her gün için tek tek yapılabileceği gibi, bir sonraki aşama olan dengeleme esnasında, tüm ölçüler için bir tek drift katsayısı kullanılarak da yapılabilir.

KKTC Ulusal Gravite Ağı'nın oluşturulması amacıyla yapılan bu uygulamada, drift düzeltilmesi dengelemeden önce her ölçü günü, aynı gün içerisinde yapılan ve başlanılan noktada bitirilen ölçülerin tümü için ayrı getirilmiştir.

İki nokta arasındaki gravite farkı ölçü alındığında birinci dereceden polinom ile ifade edilen doğrusal drift modeli göz önünde tutularak oluşturulan fonksiyonel model;

$$\Delta\lambda g_{ij}^r + v_{ij} = -g_i + g_j + d_1(-t_j^n + t_i^n) \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir/1,5/. Burada ;

- $\Delta\lambda g_{ij}^r$: gelgit düzeltmeleri getirilmiş i ve j noktaları gravite ölçü farkı
- v_{ij} : düzeltme
- g_i, g_j : i ve j noktalarının bilinmeyen mutlak gravite değeri
- t_i, t_j : i ve j noktalarında ölçü zamanı
- d_1 : bilinmeyen drift katsayısıdır.

Drift düzeltilmesi, her ölçü grubuna () gravimetreler için ayrı ayrı olmak üzere getirilmiştir.

Son aşamada ise indirgenmiş ve drift düzeltilmesi getirilmiş ölçülerin dengelemesi yapılmıştır. Dengelemede ayrıca her alet için bir ölçek katsayısı bulunarak bu katsayılar yardımıyla ölçülere ölçek düzeltilmesi getirilmiştir. Düzeltilmiş ölçüler (kalibrasyon + gelgit + drift düzeltmeleri getirilmiş $\Delta\lambda g_{ij}^d$) kullanılarak dengeleme gerçekleştirilmiştir. Dengelemenin fonksiyonel modelinde, gravite bilinmeyenine ek olarak her gravimetre için bir ölçek bilinmeyenini tanımlanır. Aşağıda iki gravimetre kullanıldığında gravite ağı dengelemesinin fonksiyonel modeli verilmektedir.

$$\Delta\lambda g_{ij}^d + v_{ij} = -g_i + g_j + \lambda_1(-g_i + g_j) + \lambda_2(-g_i + g_j) \quad (2)$$

Burada λ_1 ve λ_2 ; sırasıyla birinci ve ikinci alet için ölçek bilinmeyenidir. Noktalar arasındaki gravite farkları dengelemede ölçü olarak alınmış olup, ölçüler korelasyonsuz kabul edilmiş ve dengeleme öncesi varyansları eşit olarak alınmıştır. (2) eşitliği ile verilen fonksiyonel model ve ölçüler eşit ağırlıklı olarak tanımlanan stokastik model; en küçük karelerle parametre kestirimi uygulanarak çözülmüştür. Ölçülerin indirgenmesinde GRAVSOFTE, drift düzeltilmesinin getirilmesi ve ağı dengelemesinde ise Jeodezi Dairesi Başkanlığı'nda hazırlanan iki yazılım kullanılmıştır/2,7/. KKTC Ulusal Gravite Ağı'nın oluşturulmasına yönelik olarak yapılan gravite ağı dengelemesine ilişkin genel bilgiler Tablo-3'de verilmektedir.

Tablo-3 : Gravite ađ dengeleme seçenekleri

Sabit nokta	Bilinmeyen nokta	Ölçek parametresi	Drift parametresi	Ölçüler
KONYA ANKARA	GÜVERCİNLİK LEFKOŞA/ERCAN 4 ADET I nci derece NOKTA 4 ADET II nci derece NOKTA 105 ADET BÖLGESEL GRV.NOK.	λ_1, λ_2	drift yok	İndirgenmiş ve drift düzeltilmesi getirilmiş ölçü

Yukarıdaki uygulamada, drift ve gelgit düzeltilmesi getirilmiş ölçülerle KONYA ve ANKARA noktaları bilinen ve hatasız alınarak bilinmeyen noktaların (GÜVERCİNLİK, LEFKOŞA/ERCAN, 4 adet I nci derece nokta, 4 adet II nci derece nokta, 105 adet bölgesel gravite noktası) gravite değerleri ile gravimetreler için (2) eşitliğine uygun olarak 1 nci dereceden ölçek bilinmeyenleri hesaplanmıştır.

KKTC Ulusal Gravite Ağı'nın Oluşturulması amacıyla yapılan dengelemeye 264 gözlem girmiş olup, bilinmeyen sayısı 117 ve serbestlik derecesi 147'dir. Uygulama sonuçlarına göre KKTC'nde ölçü yapılan noktalarda minimum gravite değeri ile maksimum gravite değeri arasında 288.4 mGal'lik bir fark hesaplanmıştır. Nokta gravite değerlerinin standart sapmaları ise 0.0142 mGal ile 0.0498 mGal arasında değişmektedir. Dengeleme sonunda, tüm ölçülere gelen düzeltmelerin normlandırılmış değerleri ise 0.0 ile 3.29 arasında değer almaktadır.

4. SONUÇ

KKTC Ulusal Gravite Ağı'nın oluşturulmasına yönelik olarak, yapılan gravite ađ dengelemesinin ana unsurları; ölçüler (ölçülen bazlardaki düzeltilmiş gravite ölçü farkları), bilinmeyen parametreler (nokta gravite değerleri ve her bir gravimetre için ölçek parametresi) ile ağın datumunu belirlemek için kullanılan bilinen parametrelerdir. ANKARA ve KONYA noktalarının gravite değerleri bilinen ve hatasız kabul edilerek gerçekleştirilen dengeleme sonucunda bilinmeyen nokta gravite değerlerine ek olarak her bir gravimetre için birinci dereceden ölçek polinomu parametresi hesaplanmıştır. Bu ölçek parametresi gravite farkındaki doğrusal değişimi gösteren bir katsayıdır. Hesaplanan ölçek parametreleri kalibrasyon bazında mutlak gravite ölçülerinden oluşturulan gravite farkı ile bu çalışmada ölçülen gravite arasındaki farkı göstermektedir.

KUGA-2001 ağı noktalarının gravite değerleri Türkiye Ulusal Gravite Ağı'na dayalı olarak hesaplanmıştır ve I nci ve II nci derece ađ noktalarının dengeleme sonrası iç duyarlığı ± 0.014 mGal. ile ± 0.026 mGal. arasında değişmektedir.

KAYNAKLAR

- /1/ Ayhan, M.E., C. Demir, : Yeni Türkiye Birinci Derece Gravite Ağı, İç Rapor Jeof-
Y. Çađlar 98-2, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Harita Genel

Komutanlığı, Ankara,1998.

- /2/ Demir, C. : Kişisel katkı, Harita Genel Komutanlığı, Ankara,2001.
- /3/ Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı : Gravite Çalışmaları Teknik Talimatı, (HGK : MST/125-11), Harita Genel Komutanlığı, Ankara,1992.
- /4/ LaCoste & Romberg : Instruction Manual for Model G and D Gravity Meters,1998.
- /5/ Torge, W. : Gravimetry, Walter de Gruyter, Berlin, 1989.
- /6/ Torun, A. : Gravite Ağı'nın İyileştirilmesi : Ara sonuç raporu, Teknik Rapor, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Harita Genel Komutanlığı, Ankara,1997.
- /7/ Tscherning,C.C., P. Knudsen, R. Forsberg : Description of the GRAVSOF T Package, Geophysical Institute,University of Copenhagen,1994.
- /8/ Wilmes, H., Kılıçoğlu, A. : Final Report of the Absolute Gravity Campaign 1996 in Turkey. Internal Report (not published). Department of Geodesy, General Command Of Mapping, Ankara, Turkey,1997.