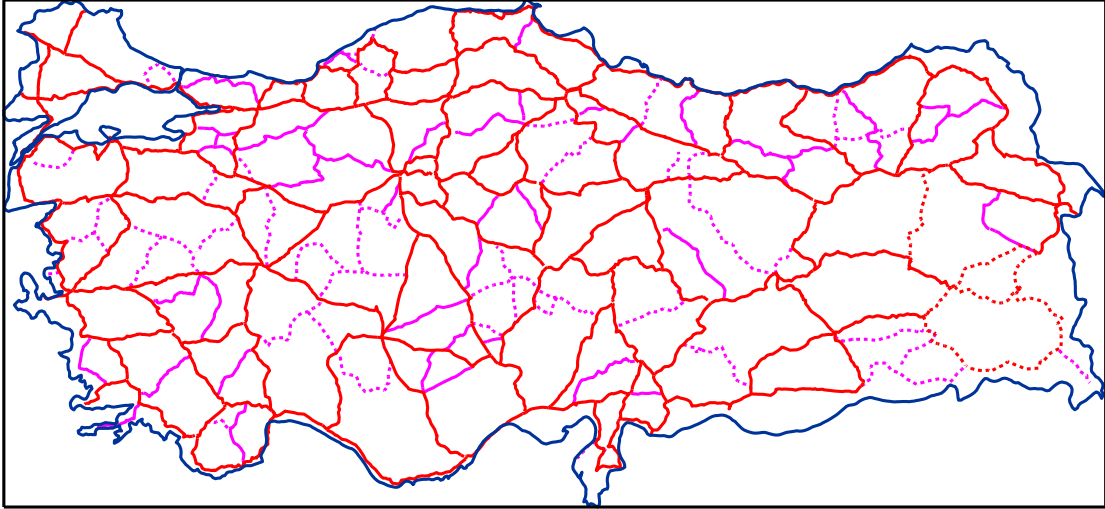


**T.C.
M.S.B.
HARİTA GENEL KOMUTANLIĞI
JEODEZİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI**



TEKNİK RAPOR

**TÜRKİYE ULUSAL DÜŞEY KONTROL AĞI-1999
(TUDKA-99)**



ARALIK 1999

**T.C.
M.S.B.
HARİTA GENEL KOMUTANLIğI
JEODEZİ DAİRESİ BAŞKANLIğI**

**TEKNİK RAPOR
NO : JEOFNİV-02-1999**

**TÜRKİYE ULUSAL DÜŞEY KONTROL AğI-1999
(TUDKA-99)**

ARALIK 1999

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No.</u>
HAZIRLAYAN	iii
İÇİNDEKİLER	iv
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ	2
3. DÜŞEY KONTROL (NİVELMAN) AĞI DENGELEMESİ	5
4. TTGA-99'un OLUŞTURULMASI	8
a. Ölçülerin Ön İşlemi	8
b. TUTGA-99'un Oluşturulması	10
5. SONUÇLAR	17
KAYNAKLAR	18
EKLER	20

1. GİRİŞ

Türkiye'de Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ile ilgili çalışmalar 1935 yılında Antalya mareograf (deniz seviyesi ölçer) istasyonunun kurulması ile başlamıştır. Sonraki yıllarda ana karayolları boyunca oluşturulan 158 I nci derece ve 87 II nci derece geometrik nivelman geçkisinin ilk faz ölçüleri 1970 yılına kadar yapılarak Düşey Kontrol Ağı tesis edilmiştir. I ve II nci derece ölçülerde gidiş-dönüş kapanması için sırasıyla $4\sqrt{S}$ mm ve $8\sqrt{S}$ mm (S km biriminde geçki uzunluğu) ölçütleri alınmıştır. Gravite ağı ile ilgili çalışmalar 1956 yılında başladığından 1970 yılına kadar düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmemiştir. 1973 yılından itibaren ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri başlatılmıştır. Bu kapsamda günümüze kadar sürdürülen çalışmalarda daha önce tesis edilen geçki ölçüleri yenilenmiş, alt yapı nedeniyle tahrip olan geçkiler yerine yenileri, gerek duyulan yerlerde ise yeni geçkiler tesis edilmiş ve düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmüştür. 1993 yılına kadar gerçekleştirilen ölçü çalışmaları ile 151 I nci derece ve 39 II nci derece geçki ölçüsü yenilenmiş, 2 yeni II nci derece geçki tesis edilerek ölçülmüştür.

1985-1992 yıllarında yapılan çalışmalarla, 1973-1991 yıllarında ölçüsü yenilenen 151 adet I nci derece ve 35 adet II nci derece geçki ile 1970 yılından önce ölçülen 5 adet I nci derece geçkinin, gravite değerleri ile birlikte ilk değerlendirmesi yapılarak Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturulmuştur. Ölçüsü yenilenmemiş 52 II nci derece geçki bu değerlendirmeye alınmamıştır (Ayhan ve Demir, 1992).

TUDKA-92 oluşturulurken dengeleme sonrası yapılan istatistik analizde üç adet geçkinin uyuşumsuz olduğu saptanmış ve bu geçkiler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sonraki yıllarda, uyuşumsuz bulunan üç geçkiden iki tanesi (biri tamamen,diğerin bir bölümü) ölçülmüştür. Ayrıca 1993 yılında dört eski ve iki yeni olmak üzere altı adet II nci derece geçki ölçüsü yapılmıştır(Ayhan ve Demir, 1995). Diğer taraftan daha önce değerlendirme dışı bırakılan 52 adet eski II nci derece geçkiden 44 'ünün ağa bağlantısı gerçekleştirilmiş ve bu geçkilerdeki noktaların tamamında gravite değerleri prediksyonla kestirilmiştir. Ağa bağlantısı sağlanamayan diğer 8 adet eski II nci derece geçki değerlendirme dışında tutulmuştur. Daha sonra tüm geçkilerdeki noktalarının koordinatları (enlem ve boylam) 1/25000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılarak elde edilmiş ve mevcut tüm veriler (gravite, enlem, boylam, geometrik yükseklik farkı, uzaklık) kontrol edilmiştir.

TUDKA kapsamında bugüne kadar yapılan çalışmalar ile ilgili olarak hazırlanan rapor ve bildirimler EK-A'da verilmekte olup bu raporda özellikle TUDKA'ya ilişkin eksik verilerin tamamlanması ve mevcut tüm verilerin kontrolü tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen dengeleme ile elde edilen sonuçlar ifade edilmektedir. Ayrıca konu bütünlüğünü sağlamak için önceki raporlarda yer alan bazı temel hususlar da bu raporda yer verilmiştir.

Yukarıda sözü edilen kontrol işlemleri tamamlandıktan sonra, yapılan ek ölçülerin de katılımı ile TUDKA dengelemesi yeniden yapılarak, TUDKA-99 oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeye 1970 yılından sonra ölçülen **151** adet I nci derece ve **41** adet II nci derece ile 1970 yılından önce ölçülen **7** adet I nci derece ve **44** adet II nci derece geçki olmak üzere toplam **243** I ve II nci derece geçki dahil edilmiştir.

TUDKA-99 'un oluşturulmasında izlenen adımlar (Ayhan ve Demir, 1992);

- Geometrik nivelman ve gravite ölçülerinin ön işlemi
- Dengelemede ve uygulamada kullanılacak yükseklik sisteminin seçimi,
- Düşey datumun belirlenmesi,
- Düşey kontrol ağının dengelenmesi

olup akış şeması EK-B'de verilmektedir.

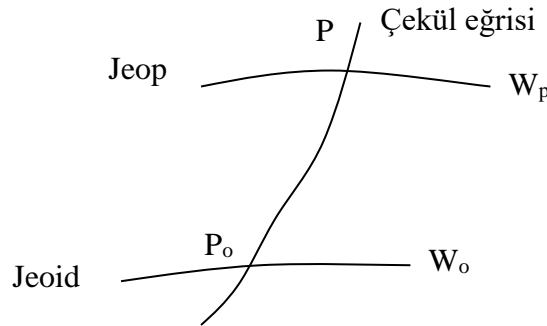
Dengelemede kullanılacak yükseklik sistemine bağlı olan ön işlemler; ölçülen yükseklik farklarının, ölçü aleti (nivo), mira ve fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan sistematik etkilerden arındırılmasını içerir (Vanicek vd.,1980; Pelzer, 1981; Holdahl, 1981; Niemier, 1986). TUDKA'nın dengeleme aşamasında IAG (International Association of Geodesy)'nin UELN (United European Levelling Network) alt komisyonunca önerilen, tek anlamlı ve tam diferansiyel olan Jeopotansiyel sayılar yükseklik sistemi olarak seçilmiş ve IGSN71 (International Gravity Standardization Network-1971)'e yakın Düzenlenmiş Potsdam datumundaki gravite değerleri kullanılmıştır (Kok vd., 1980; Ehrnsperger vd., 1981).

TUDKA için düşey datum Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir (Ayhan ve Demir, 1992).

Bu raporda Türkiye'de uygulamada kullanılacak yükseklik sisteminin seçimine ışık tutması açısından, yükseklik sistemleri hakkında özet bilgiler ikinci bölümde verilmekte, üçüncü bölümde düşey kontrol ağı dengeleme modeli açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde TUDKA-99'nin oluşturulması ele alınmakta ve beşinci bölümde TUDKA-99 dengelenmesi neticesinde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

2. YÜKSEKLİK SİSTEMLERİ

Jeoid üzerindeki bir P_0 noktasının potansiyeli (W_0) ile P yeryüzü noktasının potansiyeli (W_p) arasındaki fark P noktasının jeopotansiyel sayısı (C_p) olarak tanımlanır ve



Şekil - 1

$$C_p = W_0 - W_p = \int_{P_0}^P g \cdot dh \quad (2.1)$$

ile ifade edilir (Şekil-1). Burada dh diferansiyel yükseklik farkı, g gerçek gravitedir. Jeopotansiyel sayı tam diferansiyel ve tek anlamlı bir büyüklük olup P₀ ve P noktaları arasında izlenen yoldan bağımsızdır. Jeopotansiyel sayının birimi kilogalmetre olup aynı zamanda jeopotansiyel birim (g.p.u.) de kullanılmaktadır. C jeopotansiyel sayı ve G ortalama gravite yardımıyla Yükseklik Sistemleri,

$$\text{Yükseklik} = \frac{C}{G} \quad (2.2)$$

genel formülü ile elde edilmektedir (Heiskanen ve Moritz, 1967; Torge, 1980). G'nin seçimine bağlı olarak farklı yükseklik sistemleri tanımlanabilmektedir. Aşağıda dinamik, ortometrik ve normal yüksekliklere ilişkin G değerleri tanımlanmaktadır.

Dinamik Yükseklik : H^D

$$G = \gamma_{45} \quad (2.3)$$

Ortometrik Yükseklik (Helmert) : H

$$G = g_p + 0,0424 H \quad (2.4)$$

Normal Yükseklik (Molodensky) : H^N

$$G = \gamma [1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H^N}{a} + (\frac{H^N}{a})^2] \quad (2.5)$$

Burada;

g_p : P yeryüzü noktasında ölçülen gravite

γ : Elipsoid üzerinde normal gravite

φ : Jeodezik Enlem

γ₄₅ : φ=45° için normal gravite

f : Basıklık

$$m = \frac{\omega^2 ab}{kM}$$

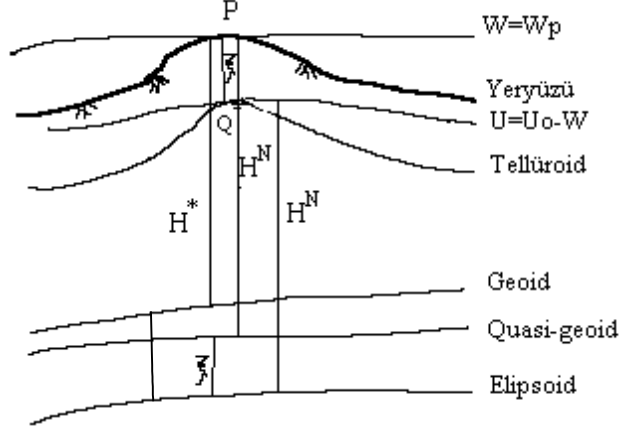
ω : Yerin açısal dönme hızı

a,b : Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri

kM : Newton çekim sabiti ile yerin kütlesinin çarpımıdır

Fiziksel boyutu olan jeopotansiyel sayı sabit bir sayı γ₄₅ ile bölünerek metrik boyutu olan dinamik yükseklikler elde edilir. Aynı eş potansiyelli yüzey üzerindeki noktaların dinamik yükseklikleri aynıdır. Geometrik nivelman ölçüsüne dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilebilir. Dinamik düzeltme özellikle dağlık bölgelerde büyük değerlere ulaştığından bu yükseklik sistemi uygulama açısından uygun değildir.

Ortometrik yüksekliklerin başlangıç yüzeyi jeoid, normal yüksekliklerin başlangıç yüzeyi ise okyanuslarda jeoid ile çakışan karalarda farklılık gösteren quasi-jeoid olup bu yükseklikler Şekil-2'de gösterilmektedir.



Şekil-2 Ortometrik ve Normal yükseklik (Heiskanen ve Moritz, 1967)

Şekil 2'den görüldüğü gibi P noktasının gerçek çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığı ortometrik yükseklik, normal çekül eğrisi boyunca quasi-jeoide olan uzaklığı ise normal yüksekliktir. Ortometrik yükseklikler yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasına karşın, normal yükseklikler için herhangi bir varsayım sözkonusu olmayıp her iki yükseklik sistemi tam diferansiyel ve tek anlamlıdır.

Uygulamada jeopotansiyel sayı hesabı için (2.1) integrali toplam şekline dönüştürülür. P noktasının Jeopotansiyel Sayısı; P_o 'dan P' ye olan geçki üzerinde belirli aralıklı noktalar arasındaki Jeopotansiyel Sayı farkları (ΔC_k)'nın toplamıyla elde edilir.

$$C_p = \sum_{k=1}^K \Delta C_k \quad , \quad \Delta C_k = \bar{g}_k \cdot \delta n_k \quad (2.6)$$

δn_k iki nokta arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, \bar{g}_k söz konusu iki yeryüzü noktası arasındaki ortalama gerçek gravitedir. Noktaların Jeopotansiyel Sayıları belirlendikten sonra (2.3)-(2.5) eşitlikleriyle istenilen yükseklik sisteminde nokta yükseklikleri belirlenebilir. Ayrıca geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltmeler getirilerek (ortometrik düzeltme, normal düzeltme, dinamik düzeltme) düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde noktalar arasındaki yükseklik farkları doğrudan da elde edilebilmektedir (Ayhan ve Demir, 1992).

Gerçek gravite değerinin bilinmediği durumlarda (2.6) eşitliğinde \bar{g}_k yerine ortalama normal gravite ($\bar{\gamma}$) alınarak ΔC_k ' normal jeopotansiyel sayı farkı elde edilmekte ve böylece normal jeopotansiyel sayı (C_p') hesaplanmaktadır.

$$C_p' = \sum_{k=1}^K \Delta C_k' \quad , \quad \Delta C_k' = \bar{\gamma}_k \cdot \delta n_k \quad (2.7)$$

Normal jeopotansiyel sayıdan normal ortometrik yükseklikler (H^{NO}); (2.2) eşitliğine benzer şekilde

$$H^{NO} = \frac{C_P'}{G}$$

$$G = \gamma - 0.3086 (H^{NO} / 2) \quad (2.8)$$

eşitlikleriyle elde edilmektedir. Normal jeopotansiyel sayılar gerçek gravite alanına dayanmadığı için tam diferansiyel ve tek anlamlı değildir. Bunun anlamı, bir loopu oluşturan normal jeopotansiyel sayı farklarının toplamı teorik olarak sıfır olmaz. Bu da bir yükseklik sisteminden beklenen temel özellikleri yansıtmamaktadır. Ölçülen geometrik yükseklik farklarına normal graviteden yararlar normal ortometrik düzeltme getirilerek normal ortometrik yükseklik farkları elde edilebilmektedir. Normal ortometrik düzeltme (OC');

$$OC' = -2\bar{H}^{NO} \alpha \sin 2\bar{\varphi} \left[1 + \left(\alpha - \frac{2\beta}{\alpha} \right) \cos 2\bar{\varphi} \right] \Delta\varphi \quad (2.9)$$

eşitliği ile hesaplanır (Rappleye, 1948; Holdahl, 1979; Balasz ve Young, 1982).. Burada \bar{H}^{NO} ortalama yükseklik, α ve β bilinen katsayılar, $\bar{\varphi}$ iki düşey kontrol noktasının ortalama enlemi, $\Delta\varphi$ ise aralarındaki enlem farkıdır. Türkiye'de halen Normal Ortometrik Yükseklik Sistemi uygulanmakta olup ölçülen yükseklik farkları; (2.9) eşitliğinde $\alpha=0.002644$ ve $\beta=0.000007$ (Hayford Elipsoidi) alınarak hesaplanan normal ortometrik düzeltme ile normal ortometrik yükseklik farklarına dönüştürülmüştür.

3. DÜŞEY KONTROL (NİVELMAN) AĞI DENGELEMESİ

TUDKA'nın dengelemesi aşamasında jeopotansiyel sayılar yükseklik sistemi olarak seçilmiş ve noktalar arasındaki jeopotansiyel sayı farkları geometrik nivelman ve gravite ölçülerinden hesaplanmıştır. Düşey kontrol ağında nokta sayısı (bilinmeyen sayısı) çok fazla olduğu için ağın topluca dengelenmesi bilgisayar kapasitesini aşmaktadır. Bu nedenle aynı sonuçların elde edilmesini sağlayan iki aşamalı bir hesaplama modeli uygulanmıştır. İlk aşamada düğüm noktaları ve aralarındaki geçkilerden oluşan düşey kontrol ağı dengelenmiş ikinci aşamada ise düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayı ve duyarlıklarından yararlanılarak geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlıkları hesaplanmıştır. Burada düğüm noktası olarak I ve II nci derece geometrik nivelman geçkilerinin kesişim noktaları kastedilmektedir. Uygulanan iki aşamalı hesaplama modeli aşağıda açıklanmaktadır.

Düğüm noktalarının C jeopotansiyel sayıları bilinmeyen, düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca ΔC jeopotansiyel sayı farkları ölçü alınarak dengelemenin fonksiyonel ve stokastik modelleri,

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = \mathbf{Ax} \quad ; \quad \mathbf{P} = \sigma_0^2 \sum_{II}^{-1} \quad (3.1)$$

ile oluşturulur. Burada \mathbf{l} ölçü vektörü, \mathbf{v} düzeltme vektörü, \mathbf{x} bilinmeyen vektörü, \mathbf{A} katsayılar matrisi, \mathbf{P} ölçülerin ağırlık matrisi, \sum_{II} ölçülerin varyans-kovaryans matrisi, σ_0^2 apriori

varyanstır. (3.1)' de verilen iki eşitlikten en küçük kareler $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \Rightarrow \min$, ilkesini sağlayan normal denklemler

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (3.2)$$

olur. Düşüm noktalarının tamamı bilinmeyen seçilirse $(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})$ matrisi tekildir ve rank bozukluğu (d) birdir. Bu nedenle $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \Rightarrow \min$ ilkesine ek olarak $\mathbf{x}^T \mathbf{x} \Rightarrow \min$ koşulu tanımlanır ve (3.2)' nin bir çözümü

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}} &= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{G} \mathbf{G}^T)^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} &= (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{G} \mathbf{G}^T)^{-1} - \mathbf{G} \mathbf{G}^T \\ \hat{\mathbf{v}} &= -(\mathbf{P}^{-1} - \mathbf{A} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{A}^T) \mathbf{P} \mathbf{l} \\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{v}}\hat{\mathbf{v}}} &= \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{A} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{A}^T \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{\mathbf{v}}^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{v}}}{f}$$

ile bulunur. Burada $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}$ bilinmeyenlerin kofaktör matrisi, $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{v}}\hat{\mathbf{v}}}$ düzeltmelerin kofaktör matrisi, $\hat{\sigma}_0^2$ aposteriori varyans, f serbestlik derecesi ($f=n-u+d$, n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı) ve \mathbf{G} vektörü (ux1) boyutlu $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ 'nın sıfır özdeğerine karşılık gelen özvektör olup

$$\mathbf{G}^T = \frac{1}{\sqrt{u}} [11 \dots 1] \quad (3.4)$$

ile tanımlıdır (Koch, 1980). En az bir noktanın jeopotansiyel sayısı bilindiğinde $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ matrisi regüler (düzenli) olur ve $(.)^{-1}$ Cayley inversi ile (3.2)'nin bir çözümü bulunur.

Genel olarak dengeleme modeli oluşturulurken öngörülen;

- Ölçü ve bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişkiler doğrudur,
- Stokastik modelde, ölçülerin istatistiki özellikleri gerçeğe yakın tanımlanmıştır,
- Ölçüler arasında uyumsuz ölçü yoktur,

varsayımlarının geçerli olup olmadığını irdelemek için apriori varyans ile aposteriori varyans karşılaştırılır. Eğer,

$$\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} < F_{f,\infty;1-\alpha} \quad (\alpha = 0.05)$$

oluyorsa varsayımlar geçerli tersi durumda geçersizdir. Tersisi durumda, yukarıdaki varsayımların geçersiz olmasından kaynaklanan model hataları sözkonusudur. Burada f ve ∞ sırasıyla aposteriori varyans ($\hat{\sigma}_0^2$) ve apriori varyans (σ_0^2)'ın serbestlik derecesi, $F_{f,\infty;1-\alpha}$, α yanılma olasılığı ile F dağılımı değeridir. Eşitsizliğin sağlanmaması durumunun; uyumsuz ölçülerden kaynaklandığı kabul edilirse, ikinci aşamada, uyumsuz ölçüleri ortaya çıkarmak

için w-testi (Data snooping) uygulanır. Ölçülerin korelasyonsuz olması durumunda her ölçü için

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \quad (3.5)$$

ile hesaplanan test değerlerinden en büyüğü w_i (max)

$$w_i(\max) > \sqrt{F_{1,\infty;1-\alpha_0}} \quad (\alpha_0 = 0.001)$$

eşitsizliğini sağlıyorsa i ' nci ölçü uyuşumsuz olarak belirlenir. Burada $q_{v_i v_i}$, $Q_{\hat{v}\hat{v}}$ 'nin i 'nci diagonal elemanı, α_0 tek boyutlu testin yanılma olasılığıdır. Uyuşumsuz olduğu saptanan ölçü, ölçü kümesinden çıkarılarak dengeleme işlemi ve uyuşumsuz ölçü testi, uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar yinelenir (Kavouras, 1982; Kok, 1982;1983).

Model hataları yukarıda ifade edilen iki aşamalı istatistik testle ortaya çıkarılabilmektedir. Ayrıca bir ölçüde yapılan ∇l_i büyüklüğündeki bir hatanın, w-test yöntemi ile ortaya çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte olması gerektiği,

$$\nabla l_i = \sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda_0}{p_i r_i}} = \sigma_{li} \sqrt{\frac{\lambda_0}{p_i}} \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. ∇l_i iç güven ölçütü olarak adlandırılır. Burada λ_0 merkez dışı parametre,

$$\lambda_0 = \lambda(\alpha, \beta_0, r, \infty) = \lambda(\alpha_0, \beta_0, 1, \infty)$$

şeklinde kapalı bir fonksiyon ile tanımlanır. Yanılma olasılığı α_0 ve test gücü β_0 'a bağlı olarak sayısal değerleri Baarda (1968)'de verilen nomogramdan alınabilir. r_i ise kısmi serbeslik derecesidir ve

$$r_i = p_i q_{v_i v_i} \quad (3.7)$$

eşitliği ile hesaplanır. r_i değerleri l_i ölçüsünün toplam serbeslik derecesi (r)'ye katkısını gösterir. Jeodezik ağlarda ölçülerin kısmi serbeslik dereceleri önemli bir güven ölçütüdür ve herhangi bir ölçüde yapılacak kaba hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağını gösterir. Diğer bir ifadeyle r_i ' ler ilgili ölçünün diğer ölçüler tarafından ne ölçüde kontrol edilebilirliğinin bir ölçütüdür. 0 - 1 arasında değer alabilen r_i 'nin sıfır olması ölçünün kontrolünün olmadığını, bir olması ise tam kontrol edilebildiğini ifade eder.

Ölçülerde ortaya çıkarılabilen hatanın sınır değerinde ve bundan daha küçük olan hatalı ölçüler, ölçü kümesi içinde bulunacağından ortaya çıkarılamayan bu hataların dengeleme sonuçları (bilinmeyenler) üzerine etkisi dış güven ölçütü olarak adlandırılır. Her ölçüde yapılan ∇l kaba hatasının bütün bilinmeyenler üzerine etkisinin tek tek hesaplanması büyük bir hesap yükü getirir ve datuma bağlı olan bu büyüklüklerin yorumlanması oldukça zordur. Bu nedenle bir ölçüdeki ∇l_i hatasının bilinmeyenler üzerine etkisini gösteren ölçüt $\bar{\lambda}_i^{1/2}$, nivelman ağları için

$$\bar{\lambda}_i^{1/2} = \left(\frac{1}{\sigma_0^2} (\nabla \mathbf{l}_i^T \mathbf{P} \nabla \mathbf{l}_i) - \lambda_0 \right)^{1/2}$$

$$\nabla \mathbf{l}_i^T = [0 \ 0 \ \dots \ \nabla l_i \ \dots \ 0] \quad (3.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Datuma bağlı olmayan $\sqrt{\bar{\lambda}_i}$ değerlerinin homojen olması beklenir (Kavouras, 1982; Kok, 1982; 1983).

Yukarıda ifade edilen dengeleme modeli ile birinci aşamada; düğüm noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlılığı hesaplandıktan sonra ikinci aşamada; düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlıkları hesaplanır. i ve j düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayıları C_i ve C_j , varyansları σ_i^2 , σ_j^2 , kovaryansı σ_{ij} ve aralarındaki geçki uzunluğu S_{ij} olmak üzere; i ve j düğüm noktalarını birleştiren geçki üzerinde i noktasından başlayarak S_{im} mesafedeki bir m ' nci düşey kontrol noktasının C_m jeopotansiyel sayısı ve σ_m^2 duyarlılığı, $q = S_{im}/S_{ij}$ olmak üzere,

$$C_m = (1-q)(C_i + \sum_{k=1}^{m-1} \Delta C_k) + q(C_j - \sum_{k=m}^{M-1} \Delta C_k) \quad (3.9a)$$

$$\hat{\sigma}_m^2 = (1-q)^2 \hat{\sigma}_i^2 + 2q(1-q) \hat{\sigma}_{ij} + q^2 \hat{\sigma}_j^2 + q(1-q) \hat{\sigma}_{\Delta C_{ij}}^2 \quad (3.9b)$$

ile hesaplanır. Burada M , i ve j noktaları dahil geçkideki toplam nokta sayısı, $\sigma_{\Delta C_{ij}}^2$ i ve j noktaları arasındaki jeopotansiyel sayı farkının varyansıdır (Vanicek ve Krakwisky, 1982).

4. TUDKA-99'UN OLUŞTURULMASI

a. Ölçülerin Ön İşlemi

1936-1970 yıllarında yapılan geometrik nivelman ölçüleriyle 19800 km uzunluğunda 158 adet I nci derece ve 8900 km. uzunluğunda 87 adet II nci derece geçkiden oluşan düşey kontrol ağı fiilen tesis edilmiştir. Bu ağı iyileştirmek amacıyla 1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçülerinde bugüne kadar, 151 I nci derece ve 41 II nci derece olmak üzere toplam 23077 km geçki ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Ölçüsü yenilenen toplam 190 I ve II nci derece geçki ve yeni tesis edilen 2 II nci derece geçki ile ölçüsü yenilenmeyen 7 I nci derece ve 44 II nci derece geçkinin değerlendirilmesi tamamlanarak, **243** geçkiden oluşan **25680** noktalı TUDKA-99 oluşturulmuştur (Şekil-3).

Geometrik nivelman ölçülerinde Wild N3 ve Zeiss Ni002 (1988 yılından itibaren) nivoları kullanılmış, ikinci faz ölçülerde ölçü öncesi ve ölçü sonrasında miralar komparator ile kalibre edilerek mira ölçek ve sıcaklık düzeltmesi getirilmiştir. Geometrik nivelman ölçülerinin kontrolü, mira ölçek ve sıcaklık düzeltmesi ile kolimasyon düzeltmesi **LEVEL** yazılımıyla yapılmaktadır. Geometrik nivelman ölçülerinde fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan düzeltmeler (refraksiyon, astronomik, magnetik ve yerkaşu hareketleri) ek parametrelerin ölçülmesi veya bilinmesini gerektirdiğinden I ve II nci derece geometrik nivelman ölçülerine getirilmemiştir.

1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri sırasında düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmüştür. Değişik nedenlerle gravite ölçülmeyen ve 1970 öncesi ölçülen 6 I nci derece ve 44 II nci derece geçkinin tamamında olmak üzere toplam **4112** düşey kontrol noktasının gravite değeri, çevresindeki 3-5 km. sıklıkta gravite noktalarından yararlı ± 3 mgal doğrulukla kestirilmiştir (Ayhan ve Alp; 1988). Böylece düşey kontrol noktalarında, IGSN71 sistemine yakın Düzenlemiş Potsdam Gravite Datumunda gravite belirlenmiştir.

TUDKA-92 dengelemesinde kullanılan ve 1985-1991 yıllarında her geçki için ayrı olarak hazırlanan veriler (HAT*.DAT); bir geçkideki noktalara ilişkin gravite, enlem (dakika doğruluğunda), noktanın tarifi, noktalar arasındaki geometrik yükseklik farkı (LEVEL programından bulunan) ve uzaklık bilgilerini içermektedir. 1997 yılında başlatılan bir çalışma ile, önce insan gücüyle daha sonra da bilgisayarda 1/25000 ölçekli haritalardan düşey kontrol noktalarının enlem ve boylam değerleri, derece saniyesi (") doğruluğunda sayısallaştırılmış ve her geçki için konum bilgilerini (enlem, boylam) içeren kütükler (HAT*.KON) hazırlanmıştır. Daha sonra **INJ_KON.FOR** yazılımı ile konum bilgileri mevcut geçki verileri ile birleştirilerek geçkiler için yeni veri dosyaları (HAT*.NEW) elde edilmiştir. Bu birleştirmede aynı zamanda dakika doğruluğundaki mevcut enlem değeri ile sayısallaştırılmış enlem değerleri karşılaştırılarak kaba hatalar denetlenmiştir.

Yeni elde edilen HAT*.NEW dosyaları, **KONTROL.FOR** yazılımı kullanılarak gravite, konum bilgileri ve uzunluk ölçüleri kontrol edilmiştir. Gravite değerlerinin kontrolü amacıyla ardışık noktalar arasında

$$\Delta = (g_2 - g_1) - (\gamma_2 - \gamma_1) - (H_2 - H_1) 0.1967$$

eşitliği yardımıyla ölçülen gravite farklarından, sözkonusu noktalar arasındaki normal gravite farkları ve Bouger plakası etkisi çıkarılarak elde edilen farkın (Δ), 10 mGal'i aşması durumunda ilgili noktalardaki gravite değerleri ölçü karnelerinden kontrol edilerek hatalı bulunanlar düzeltilmiş, karne ile aynı olan gravite ölçüleri ise aynen alınmıştır.

Tüm noktaların konum bilgileri bilindiğinden, ağın geçici dengelemesi ile elde edilen yükseklikler de kullanılarak, gravite ölçülmeyen noktaların tamamında gravite prediksyonu yeniden yapılmıştır. Ayrıca gravite ölçülen noktaların tamamında da gravite prediksyonu yapılarak gravite değerlerindeki kaba hataların denetlenmesi amaçlanmıştır.

Gravite ölçülmüş olan toplam 21400 düşey kontrol noktasında ölçülen ve prediksyon ile bulunan gravite değerleri arasındaki farkların mutlak değer olarak dağılımı Tablo-1'de verilmiş ve ayrıca 5 mGal'den büyük olan farklar Şekil-4'te grafik olarak gösterilmiştir. Tablo-1'de gösterilen 10 mGal'den büyük olan farkların ölçü karnelerinden kontrolü yapılmış, ancak aynı olduğu görülmüştür. Bu ölçülerin genellikle aynı geçki boyunca yığılım gösterdiği tespit edilmiş olup, bunun özellikle II nci derece gravite geçkilerinin dengelemelerinde izlenen yol nedeniyle oluşan sistematik hatalardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. I ve II nci derece gravite ağı ölçülerinin birlikte dengelenmesi tamamlandığında bu değerlerin kontrolü yapılabilecektir.

Tablo -1: Ölçülen gravite ile kestirilen gravite farkları mutlak değerlerinin dağılımı

Ölçü-Prediksiyon farkı (mGal)	Nokta Sayısı
0 < fark < 5	19647
5 < fark < 10	1305
10 < fark < 20	404
20 < fark < 30	44

Konum bilgilerinin kontrolü ise ardışık noktalar arasındaki enlem ve boylam farklarının 2' (derece dakikas)dan büyük olması durumunda konum bilgileri haritadan kontrol edilmiştir. Ayrıca ardışık noktalar arasında hesaplanan uzaklık ile ölçülen uzaklık değeri farkının 1 km'den büyük olması durumunda konum bilgileri ve uzaklık ölçüleri kontrol edilmiştir. Sözü edilen programların giriş ve çıkış dosya isimleri ile program hakkında özet bilgi EK-C'de yazılımlar ile giriş çıkış dosyaları EK-E'de verilmiştir.

b. TUDKA-99'un oluşturulması

TUDKA-99 nin oluşturulmasında üçüncü bölümde matematik modeli açıklanan iki aşamalı bir hesaplama modeli uygulanmıştır. İlk aşamada düğüm noktaları ve aralarındaki geçkilerden oluşan düşey kontrol ağı dengelenmiş (**NIVDENG.FOR**), ikinci aşamada ise düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayı ve duyarlılıklarından yararlanılarak geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlılıkları hesaplanmıştır (**HATDEN.FOR**).

TUDKA-99 oluşturulurken ilk aşamada I ve II nci derece geçkilerin topluca değerlendirilmesi düşünülmüş ve I ve II derece geçkilerin kesişim noktaları olan 274 düğüm noktası arasında 403 geçki oluşturulmuş ve geçkiler boyunca jeopotansiyel sayı farkları hesaplanmıştır (**JEOPOT.FOR**). i ve j düğüm noktaları arasındaki ΔC_{ij} jeopotansiyel sayı farkı;

$$\Delta C_{ij} = \sum_{k=1}^K \frac{g_k + g_{k+1}}{2} \Delta n_k \quad (4.1)$$

ile bulunmuştur. Burada K iki düğüm noktasını birleştiren geçki üzerinde düşey kontrol nokta sayısı (düğüm noktaları dahil), Δn_k iki düşey kontrol noktası arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı ölçüsü ve g_k düşey kontrol noktalarındaki gerçek gravitedir. Ölçü ağırlıkları;

$$P_i = \frac{200}{t^2 S_i} \quad (4.2)$$

ile belirlenmiştir (Kok vd., 1980; Ehrnsperger vd., 1981). Burada t, 1 km. lik nivelmanda bulunan yükseklik farkının standart sapması, S_i nivelman geçkisinin uzunluğudur (km). Nivelman ölçülerinde gidiş-dönüş ölçülerindeki kapanma hatası için $w = (2.828 t \sqrt{S_{km}})$ mm eşitliği geçerlidir (Kok, 1983). Türkiye'de I nci ve II nci derece geçkilerde gidiş-dönüş ölçüleri arasındaki ölçüt sırasıyla $4 \sqrt{S}$ mm ve $8 \sqrt{S}$ mm alındığından verilen formülden I nci derece geçkiler için $t=1.414$, II nci derece geçkiler için $t=2.828$ olmaktadır. Bu değerlerin (4.2) eşitliğinde yerine konmasıyla I ve II nci derece geçkiler için ağırlıklar belirlenmiştir.

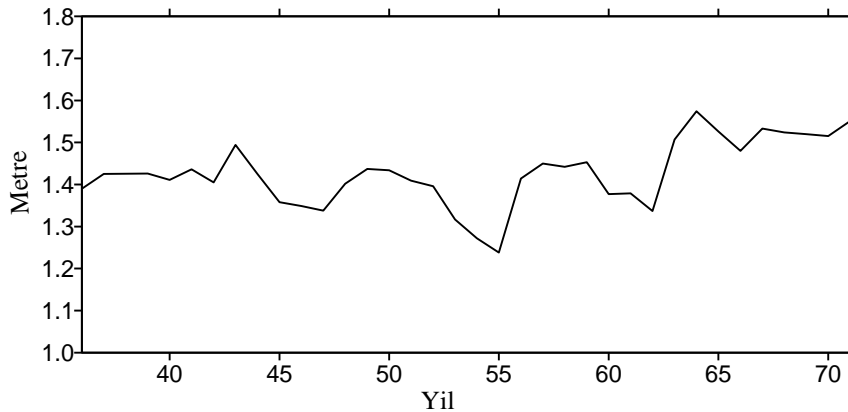
Türkiye'deki mevcut aktif plaka hareketlerinin yanısıra, uygulanan farklı ölçüm kriterleri ve miralar nedeniyle 1970 öncesi ölçülen 44 II nci derece geçkinin diğer ölçülerle birlikte doğrudan dengelemeye dahil edilmesinin uygun olmayacağı değerlendirilmiş ve bu geçkilerin TUDKA'ya dayalı hesaplanması düşünülmüştür. Bunun için bu geçki ölçüleri dengelemeye dahil edilmiş ancak ölçü ağırlıkları yaklaşık sıfır alınarak bu geçkilerin ağ dengelemesine katkısının olmaması sağlanmıştır.

Uyuşumsuz ölçüleri ortaya çıkarmak için ağ önce serbest (minimum zorlamalı) dengelenmiş ve Bölüm 2'de ifade edilen iki aşamalı test uygulanmıştır. Bu dengeleme sonunda w-test yöntemi ile çok sayıda uyuşumsuz ölçü tespit edilmiş olup, bu nedenle dengelemenin stokastik modelinde değişiklik yapılması düşünülmüştür. Bu amaçla stokastik modelin iyileştirilmesi ve uyuşumsuz ölçü belirleme işlemi iteratif olarak yapılmış ve I ve II nci derece geçkiler için sırasıyla 1.414 mm ve 2.826 mm olarak belirlenen standart sapmalar belirli bir katsayı ile çarpılarak, bu değerler yerine 4 mm ve 8 mm değerleri alınmıştır. Bu işlem sonunda w-test yöntemi ile Tablo-2'de gösterilen bir geçki ölçüsü uyuşumsuz bulunmuştur.

Tablo:2 TUDKA-99 nin dengelenmesinde uyuşumsuz geçki

Geçki Derecesi	Geçki No	Bölgesi	v (m)	W	Tablo Değeri
II	555-1	Doğu Karadeniz	-0.197	3.74	3.29

Daha sonra dayalı ağ dengelemesi yapılmıştır. Ağın düşey datumu Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir. Şekil-5'te Antalya mareograf istasyonu yıllık ortalama deniz seviyesi değerleri (Mareograf röperi-deniz seviyesi uzaklığı) gösterilmektedir. Anlık deniz seviyesi ölçüleri uygun yöntemlerle sistematik etkilerden arındırılmadığı ve ortalama deniz seviyesi ile jeoid arasında deniz yüzeyi topografyası olarak adlandırılan fark bilinmediği için düşey datumda sistematik bir kayıklık beklenmektedir. Ancak bu etki tüm noktalarda aynı miktarda olduğundan, tüm nokta değerlerinde sabit bir değer eklenmesini veya çıkarılmasını gerektirmektedir.



Şekil-5: Antalya mareograf istasyonu yıllık ortalama deniz seviyesi değerleri (mareograf röperi-deniz seviyesi uzaklığı)

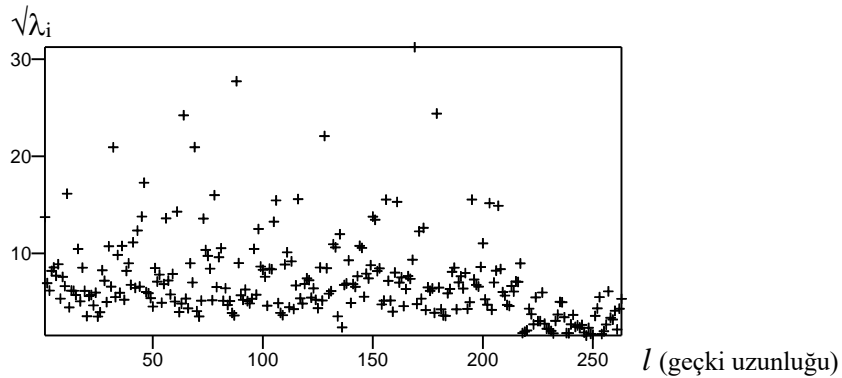
Tablo-2'de verilen uyuşumsuz ölçü atıldıktan sonra ağıın dayalı dengelemesi ile düğüm noktalarının jeopotansiyel sayıları ve varyansları belirlenmiştir. Bu dengelemede; apriori standart sapma (σ_0) ± 0.014142 g.p.u alınmış ve aposteriori standart sapma ($\hat{\sigma}_0$) ± 0.012441 g.p.u bulunmuş olup uygulanan global test sonucunda modelin geçerli olduğu görülmüştür. Ayrıca ölçülerin ve dengeli ölçülerin aposteriori standart sapmaları ($\hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_1$) ile her ölçü için hesaplanan r_i , ∇l_i , değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri ile ortalamaları, I ve II nci derece geçkiler için ayrı ayrı Tablo-3'te verilmektedir. Homojen dağılım göstermesi beklenen $\sqrt{\lambda_i}$ dış güven ölçütünün aldığı değerler Şekil-6'da gösterilmektedir.

Jeodezik ağlarda ∇l_i sınır değerleri için $\nabla l_i \cong (6-8) * \sigma_{li}$ bağıntısı geçerlidir. Bunun anlamı Baarda yöntemine göre ölçülerdeki 6 σ_{li} 'den daha büyük hatalar ortaya çıkarılabilmektedir. TUDKA-99 büyük looplardan oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak ta kısmi serbeslik dereceleri bazı bölgelerde (kol ölçüleri hariç) küçük değer almaktadır. dolayısıyla ∇l_i 'ler büyümektedir. Buna paralel olarak geometriye bağlı olan $\sqrt{\lambda_i}$ 'değerleride büyük çıkmaktadır.

Tablo 3:TUDKA-99 dengeleme sonrası istatistikleri: kısmi serbeslik derecesi, ölçü ve dengeli ölçü standart sapmaları, İç güven ölçütü (min,max ve ort)

Derecesi	r	$\hat{\sigma}_1$ (g.p.u *10 ⁻²)	$\hat{\sigma}_1$ (g.p.u *10 ⁻²)	∇l (g.p.u *10 ⁻²)
I	0.00-0.57 (0.21)	0.1-7.1 (3.0)	0.1-5.1 (2.7)	17.6-43.7 (29.4)
II	0.32-0.88 (0.64)	3.9-11.8 (7.3)	2.8-6.1 (4.3)	23.2-52.5 (38.2)

Parantez içindeki değerler ortalamadır



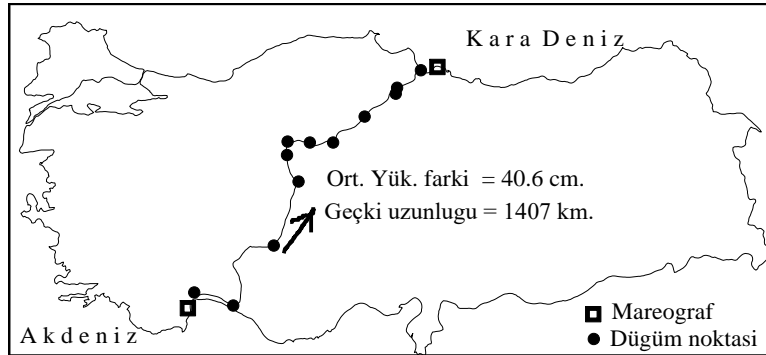
Şekil-6: $\sqrt{\lambda_i}$ 'nin dağılımı

İkinci aşamada düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayıları duyarlılıkları ile birlikte hesaplanarak **25512** noktalı TUDKA-99'nin oluşturulması tamamlanmıştır. Dengelemede uyuşumsuz olarak belirlenip atılan 555-2 nolu geçkinin geçki dengelemesi ayrıca yapılarak bu geçkideki nokta yükseklikleri de hesaplanmıştır. Geçki dengelemelerinde geçkilerin kapanmaları EK-E'de verilmektedir. Ayrıca TUDKA-99 noktalarının tamamında (2.4) ve (2.5) eşitlikleri kullanılarak Helmert ortometrik yükseklik ve Molodensky normal yükseklikleri standart sapmaları ile birlikte hesaplanmıştır. TUDKA-99'u oluşturan tüm geçkilere ilişkin sonuç çıktı EK-D'de iki farklı formatta verilmektedir.

Karadeniz ve Akdeniz ortalama deniz seviyeleri arasında bir karşılaştırma yapmak amacıyla Samsun mareograf istasyonu yakınında bulunan R61 noktasının Samsun mareograf istasyonunun 1961-1971 yılları deniz seviyesi ölçülerinin ortalaması ile tanımlanan ortalama deniz seviyesine dayalı ortometrik yüksekliği hesaplanmış ve TUDKA-99 değeri ile birlikte Tablo-4'te verilmekte ve elde edilen ortometrik yükseklik farkı Şekil-7'de gösterilmektedir. Tablo-4'ten Karadeniz ve Akdeniz ortalama deniz seviyeleri arasında 40.6 cm büyüklüğünde sistematik bir fark olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo-4: R61 noktasını Karadeniz ve Akdeniz ortalama deniz seviyelerine göre yüksekliği

Nokta	Samsun Ortalama Deniz seviyesinden (m)	Akdeniz Ortalama Deniz seviyesinden(TUDKA-99) (m)	Fark (m)
R61	+1.970	2.376 ± 0.08	0.406



Şekil-7 : Karadeniz ve Akdeniz ortalama deniz seviyeleri farkı

Yükseklik sistemleri arasında karşılaştırma yapmak amacıyla ölçüsü yenilenen (1973'ten sonra ölçülen) I ve II nci derece düğüm ve ara düğüm noktalarının hesaplanan Helmert ortometrik yükseklikleri, Molodensky normal yükseklikleri ve halen kullanılan normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farklar Tablo-5'te verilmiş, ayrıca Şekil 8, 9 ve 10'da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 5: Ortometrik, Normal ve Normal ortometrik yükseklikler arasındaki farklar

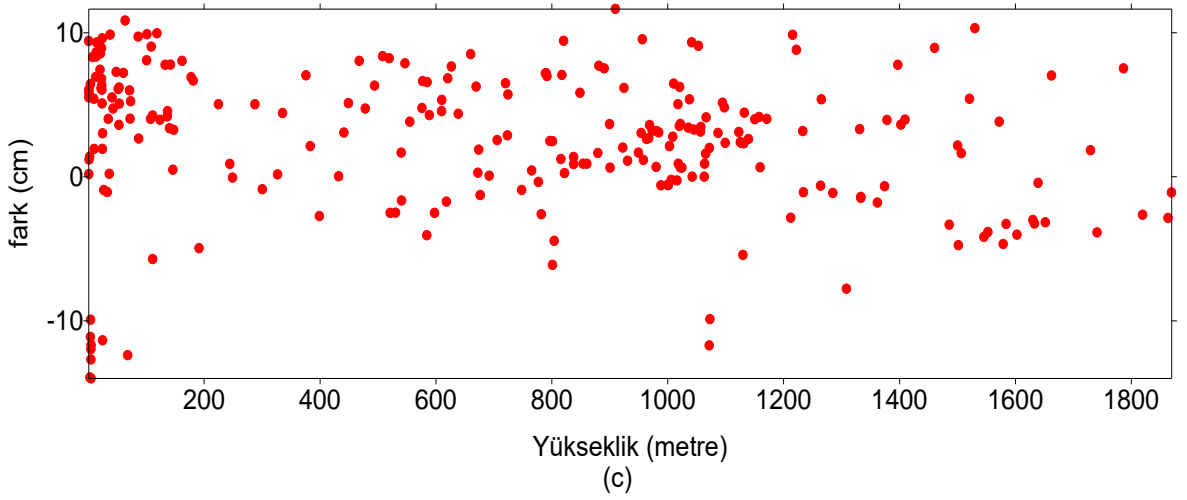
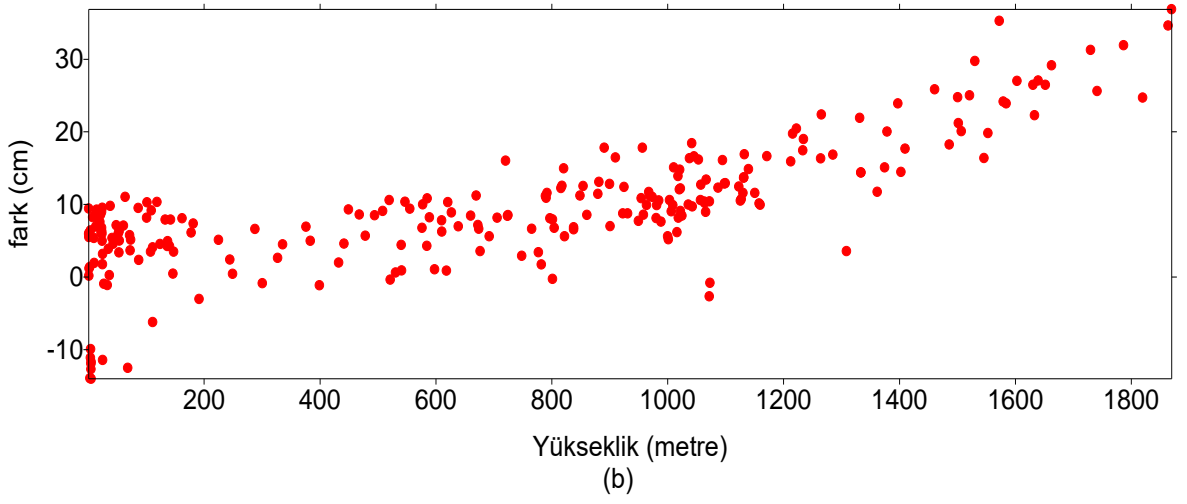
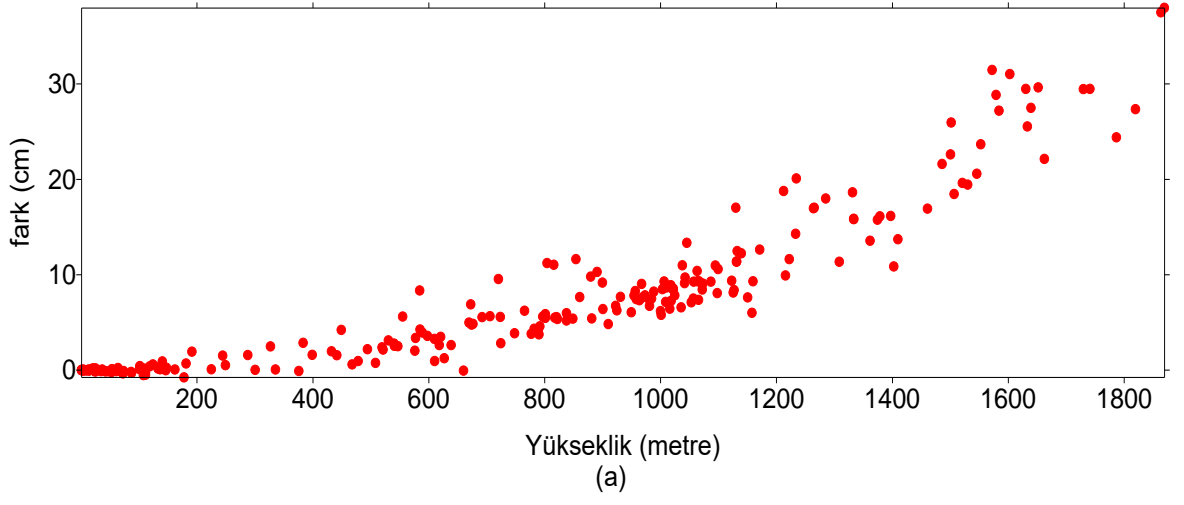
Farklar	Min (cm)	Max (cm)	Ort. (cm)	Standart Sapma (cm)
Ortometrik - Normal	- 0.7	+38.0	+ 7.0	± 8.1
Ortometrik - Normal Ort.	- 14.0	+36.9	+ 9.5	± 8.4
Normal - Normal Ort.	-14.0	+11.6	+ 2.5	± 5.0

Tablo-5'ten normal yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farkların ortalamasının 2.5 cm olduğu görülmektedir. Ayrıca sözü edilen iki yükseklik arasında Şekil-10'da verilen fark haritası incelendiğinde farkların genel olarak küçük olmakla birlikte bazı bölgelerde anomaliler gözlenmektedir. Benzer anomaliler ortometrik yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farkların gösterildiği Şekil-9'da da göze çarpmaktadır. Bunun mevcut yüksekliklerin hesaplanmasında izlenen yöntem nedeniyle oluşan ağ distorsiyonundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Türkiye'de gelecekte henüz uygulamada hangi yükseklik sisteminin kullanılacağına karar verilmemiştir. Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG)'nin Avrupa alt komisyonunca (EUREF); kuzey ve batı Avrupa ülkeleri ile orta ve doğu Avrupa ülkelerince farklı iki düşey datum ve farklı yükseklik sistemi (ortometrik, normal) benimsenerek oluşturulan iki düşey kontrol ağının, jeopotansiyel sayılar kullanılarak tek bir düşey datumda birleştirilmesi gerçekleştirilmiş olup bu ağın genişletilmesi çalışmaları sürdürülmektedir. Bu birleştirme sonucunda Avrupa ülkeleri için jeopotansiyel sayı biriminde yükseklik düzeltmeleri hesaplanmıştır. Ancak, Avrupa alt komisyonunca, Avrupa ülkelerinin uygulamada hangi yükseklik sistemini kullanması yönünde herhangi bir önerisi bulunmamaktadır.

Düğüm ve ara noktalarında yapılan hesaplamalar sonunda; normal yükseklikler ile ortometrik yükseklikler arasındaki farkların, ortometrik yükseklikler ile normal ortometrik yükseklikler arasındaki farklara nazaran daha küçük değerler almaktadır. Ancak ortometrik yükseklik ile normal yükseklik uygulama açısından birbirlerine göre belirgin üstünlükleri bulunmamaktadır. Ortometrik yüksekliklerin olumsuz yanı, yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasıdır. Normal yükseklikler ise kullanılan elipsoide bağlıdır. Ancak seçilen normal gravite alanına bağlı olarak değişim çok küçük (1-2 cm) düzeyindedir. Bu yükseklik sistemlerinin seçiminde etken olan faktör başlangıç yüzeylerinin (jeoid, quazi-jeoid) tanımlanması olarak ifade edilebilir. Türkiye'de yüksekliklerin başlangıç yüzeyi olarak jeoid alınmış ve jeoidin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapıldığı göz önünde tutulursa, ortometrik yüksekliklerin uygulamada kullanılacak yükseklik sistemi olarak seçilmesinin daha uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Ortometrik yükseklikler ve Molodensky yüksekliklerinin uygulamaya geçirilmesi açısından bu iki yükseklik sistemi arasında ve bu iki sistem ile halen kullanımda olan normal ortometrik yükseklikleri arasındaki farkların analitik fonksiyonlarla ifade edilmesi ve konuma bağlı olarak mevcut yüksekliklere getirilecek düzeltme miktarlarının hesaplanması öngörülmüştür. Bunun için öncelikle yükseklik sistemleri arasındaki farklarının yükseklik değişimini incelenmiş olup, bu farklar yüksekliklere bağlı olarak Şekil-11a-c 'de gösterilmiştir.



Şekil 11: Yükseklik farklarının yükseklik ile ilişkisi. (a) Helmert Ortometrik -Molodensky Normal yükseklik farkı, (b) Helmert Ortometrik - Normal Ortometrik yükseklik farkı, (c) Molodensky Normal -Normal Ortometrik yükseklik farkı.

Şekil-11a'dan Helmert Ortometrik-Molodensky Normal yükseklik farklarının yükseklikle değişiminin genel olarak belirgin bir sistematik karakter taşıdığı görülmektedir. Şekil-11b'de ise benzer şekilde yüksekliğe bağlı bir sistematik etki mevcut olmakla birlikte farkların daha çok yayılmışlık gösterdiği görülmektedir. Benzer durum Şekil-11c'deki farkların dağılımı içinde sözkonusudur. Bunun mevcut yüksekliklerdeki olumsuzlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Şekil-11a'da verilen Helmert ortometrik yükseklikler ile Molodensky normal yükseklikleri farklarını incelemek amacıyla, öncelikle bu yükseklik farklarının yükseklikle korelasyonu giderilmiştir. Bunun için sözü edilen yükseklik farkları için en küçük kareler yöntemiyle değişik dereceden polinomlar ile yapılan uygulamalar sonucunda; istatistiksel olarak anlamlı bulunan 2 nci dereceden polinom modeli aşağıda verilmiştir.

$$H^* - H^N = a_1 H^*(\text{km}) + a_2 H^*(\text{km})^2$$

Bu modele göre katsayılar, $a_1 = 0.0198 \pm 0.0056$ (m/km) ve $a_2 = -0.1072 \pm 0.0437$ (m/km²) olarak hesaplanmıştır. a_2 değeri Heiskanen ve Moritz (1967)'de bu iki yükseklik sistemi farkı için verilen 2 nci dereceden a_2 'ye karşılık gelen yaklaşık katsayı değeri 0.1 ile uyum göstermektedir. Bu hesaplamada ayrıca 1 nci derece katsayı da anlamlı bulunmuştur. Bu değer fiziksel anlamının olup olmadığı konusunda ayrıntılı bir inceleme yapılmasında yarar bulunmaktadır. Sözü edilen modele göre Helmert ortometrik-Molodensky normal yükseklik farklarının yükseklikle korelasyonu giderildikten sonra elde edilen indirgenmiş farklar Şekil-12'de gösterilmektedir. Yükseklikle korelasyonu giderilmiş farklar -7 cm ile +8 cm arasında değişmekte olup farkların rms değeri 2.1 cm dir.

Helmert ortometrik-Molodensky normal yükseklikleri arasındaki indirgenmiş farkların konuma bağlı değişimlerinin belirlenmesi amacıyla değişik derecelerden yüzey polinomu ile 4 parametrelili trigonometrik yüzey polinomu geçirilmeye çalışılmış, ancak uygun yüzey polinomu parametreleri belirlenememiştir. Bunun, özellikle farkların analitik fonksiyonlarla uygun şekilde temsil edilebilecek sistematik karakterde olmamasından kaynaklandığı ve farklar içinde geometrik büyüklük olarak kabul edilebilecek yüksekliklerin haricinde, gravite değişimi gibi fiziksel etkilerin de bulunduğu değerlendirilmektedir.

Helmert ortometrik-Molodensky normal yükseklik farkları için yukarıda yapılan işlemler; bu iki yükseklik sisteminin uygulamaya geçirilmesi açısından, bu yükseklikler ile mevcut yükseklik sistemi arasında da (Helmert -Normal ortometrik ve Molodensky-Normal ortometrik farkları için) yapılmıştır. Helmert ortometrik- Normal ortometrik yükseklik farklarının yükseklikle korelasyonu giderildikten sonra elde edilen indirgenmiş farkların rms değeri ± 4.9 cm bulunmuştur. Molodensky normal - Normal ortometrik yükseklik farkı için yapılan benzer analiz sonucunda indirgenmiş farkların rms değeri ± 4.8 cm bulunmuştur. Her iki indirgenmiş fark değerlerinin konuma bağlı değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla, yüzey polinomu ve 4 parametrelili trigonometrik yüzey polinomu modeli kullanılarak yapılan uygulamalar sonucunda pratik uygulanması kolay kapalı bir fonksiyon elde edilememiştir.

Her iki yükseklik sistemi ile mevcut yükseklik sistemi arasındaki indirgenmiş farklara ait rms değerlerinin büyük olmasının ve farkların analitik fonksiyonlarla modellendirilmeye uygun sistematik karakter taşımasının; büyük oranda mevcut yüksekliklerdeki olumsuzlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle mevcut yüksekliklere getirilecek

düzeltilmelerin Şekil-9 ve 10'da verilen fark haritaları yardımıyla hesaplanabileceği gibi, daha hassas hesaplamalar için düğüm ve aradüğüm noktalarındaki her iki fark değerleri EK-F'de, bu değerler yardımıyla türetilen 15'x15' grid aralıklı değerler ise EK- G de verilmektedir

5. SONUÇLAR

a. 1985-1992 yıllarında yapılan çalışmalarla oluşturulan TUDKA-92'nin değerlendirilmesinde uyuşumsuz bulunan üç geçkiden iki tanesi (biri tamamen, diğerinin bir bölümü) ölçülmüştür. Ayrıca 4 eski ve 2 yeni tesis olmak üzere 6 adet II nci derece geçki ölçüsü yapılmıştır. Sözkonusu ölçüler ile birlikte daha önce TUDKA-92'ye dahil edilmeyen 44 eski II nci derece geçkinin katılımıyla yapılan yeni dengelemede toplam uzunluğu **29316** km. ve nokta sayısı **25680** olan TUDKA-99 oluşturulmuştur. Jeopotansiyel Sayılar ile yapılan dengeleme sonrasında; düşey kontrol noktalarında datuma bağlı olan Jeopotansiyel sayı duyarlılıklarının ± 0.3 cm; ± 9 cm. arasında değiştiği belirlenmiştir. Datuma bağlı olmayan noktalar arasındaki yükseklik farklarının dengeleme sonrası hesaplanan standart sapmalarının I nci dereceler için $0.1-5.1 \text{ g.p.u} * 10^{-2}$, II nci dereceler için ise $2.8-6.1 \text{ g.p.u} * 10^{-2}$ arasında değiştiği bulunmuştur.

b. Ağın istatistik analizi sonucunda halen Doğu Karadeniz bölgesinde bir uyuşumsuz geçkinin (555-2) mevcut olduğu ve uyuşumsuz ölçüleri belirlemek için kullanılan w-test yönteminin başarı ile uygulandığı söylenebilir. Sözkonusu uyuşumsuz geçki ile birlikte dengelemede uyuşumsuzluk sınırına yakın olan ve büyük düzeltme alan İç Anadolu Bölgesinde yer alan 67B-1 nolu geçkinin yeniden ölçülmesinin yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

c. TUDKA-99 düşey datumu tanımında uygulanan yöntem nedeniyle, düşey datumun belirli bir kayıklıkla belirlendiği ifade edilebilir. Düşey datumunun yeniden tanımlanması durumunda, yeni düşey datuma göre yukarıda ifade edilen hesaplamaların yeniden yapılmasına gerek bulunmadan, nokta yüksekliklerine sabit bir düzeltme miktarı getirilecektir.

d. Geometrik nivelman ölçülerine getirilmeyen ve önemli büyüklüklere ulaşabilen refraksiyon düzeltmesini hesaplanması için ölçü anındaki ısı gradyentinin (dh/dt) ölçülmesine gerek duyulmaktadır. Ayrıca bu düzeltme değeri uygun hesaplama modelleri ile de belirlenebilmektedir. Geometrik nivelman ölçülerine refraksiyondan kaynaklanan düzeltmenin sözü edilen ikinci yöntem ile getirilmeleri amacıyla yapılan test çalışmaları sonuçlandırılmıştır (Gürdal, 1995). Bu düzeltmenin ölçülere getirilmesi için ölçü zamanı ve porte okumalarının bilgisayar ortamına aktarılması gibi oldukça yoğun veri kaydı çalışması gerekmektedir. Sözü edilen veriler bilgisayar ortamında olmadığından bu aşamada ölçülere refraksiyon düzeltmesi getirilmesi olanaklı olmamıştır. Ancak, nivelman noktaları arasındaki yükseklik farkları için sözü edilen modele göre refraksiyondan kaynaklanan düzeltmenin uygun şekilde modellendirilebilmesi durumunda yukarıda ifade edilen hesaplamaların tekrar edilmesinin yararlı olacağı değerlendirilmektedir

e. Türkiye'de mevcut Yatay kontrol (Nirengi) nokta yükseklikleri halen kullanımda olan normal ortometrik yükseklik sistemine dayalı olarak belirlenmiştir. Seçilecek yeni yükseklik sisteminin (normal, ortometrik) halen kullanımda olan yükseklik sisteminden farklı olması nedeniyle bunun uygulamaya geçirilmesi için diğer bir ifadeyle mevcut yüksekliklerin yeni

sisteme dönüşümü için hazırlanan fark haritalarından yararlanılabileceği gibi daha hassas çalışmalarda 15'x15' grid köşelerinde verilen değerler kullanılabilir.

f. TUDKA-99 noktalarında C jeopotansiyel sayı ile birlikte Helmert ortometrik ve Molodensky normal yükseklik belirlenmiş olup noktalarda C jeopotansiyel sayı tanımlı olduğu için istenilen herhangi diğer bir yükseklik sisteminde nokta yükseklikleri hesaplanabilmektedir. Türkiyedeki mevcut koşullar göz önünde bulundurularak ortometrik yükseklik sisteminin uygulamada kullanılacak yükseklik sistemi olarak seçilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

g. Türkiye farklı tektonik plakaları içeren oldukça aktif bir bölgede yer aldığından, tektonik plaka hareketleri nedeniyle TUDKA nokta yüksekliklerinde değişiklikler (inter-sismik) meydana geldiği değerlendirilmekte olup TUDKA'nın kinematik bir yapıya kavuşturulması gereği bulunmaktadır. Bu amaçla Avrupa Birleşik Nivelman Ağı (UELN)'nin kinematik bir ağa dönüştürülmesinde uygulanması düşünülen yöntemler (Remmer, 1986; Sacher vd.,200) TUDKA içinde uygulanmalıdır. Bununla birlikte, ikinci faz geometrik nivelman ölçülerinin başlatıldığı 1973 sonrasında meydana gelen ve düşey yönde hareket (ko-sismik ve post-sismik) oluşturan depremlerin incelenerek, bu depremlerin etkilediği bölgelerdeki ölçülerin, daha sonra da ihtiyaç duyulan diğer bölgelerdeki ölçülerin yenilenmesinin, TUDKA'nın yaşatılması açısından bir gereklilik olduğu ve büyük önem taşıdığı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Ayhan, M.E, Alp, O. (1988): Serbest Hava Anomali Kestrim Yöntemleri ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. Harita Dergisi, Sayı 101.

Ayhan, M.E., Demir, C. (1992): Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92). Harita Dergisi, Sayı 109.

Ayhan, M.E., Demir, C. (1995): Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92)'nin Tanıtımı ve İyileştirilmesi. TUJJB Genel Kurulu

Balazs, E.T., Young, G.M. (1982): Corrections Applied by the National Geodetic Survey to Precise Leveling Observations, NOAA Technical Memorandum NOS NGS 34.

Ehrnsperger, W., Kok, J.J. , Mierlo V. J. (1981) :Status and Provisional Results of the 1981 Adjustment of the United European Levelling Network- UELN-73. Proc.Int.Sym.on Geodetic Networks and Computations, Munich, pp. 25-44.

Gürdal, M.A (1995): Duyarlı Geometrik Nivelman Ölçülerinde Refraksiyon Düzeltmesi. TUJJB Genel Kurulu.

Heiskanen, W.,A., Moritz, H. (1967) : Physical Geodesy, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 416 pp.

Holdahl, S.R. (1974) : Time and Heights, The Canadian Surveyor, Vol. 28, No. 5, pp.709-715.

Holdahl, S.R. (1979): Height Systems for North America, Proc. First Int. Con. on Redefinition of the North American Geodetic Vertical Control Network. Correction of Levelling Refraction. Bull. Geod. Vol. 55, No. 3, pp. 231-249.

Kavouras, M. (1982) : On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks, University of New Brunswick, Frediction, N.B. Canada, Technical Report No.87.

Kok, J.J., Ehrnsperger, W., Rietveld, H. (1980): The 1979 Adjustment of the United European Levelling Network (UEN) and its Analysis of Precision and Reliability. Proc. Second Int. Sym. On Problems Related to the Redefinition of North American Vertical Geodetic Networks (NAD 1980), Ottawa, Canada.

Kok, J. J. (1982): Statistical Analysis of Determination Problems Using Baarda's Testing Procedures. Forty years of Thought, Vol. 2, pp. 469-488.

Kok, J. J. (1983): On Testing and Reliability in Levelling Networks. (In: H.Pelzer, W Niemeier (Eds.), Precise Levelling, Dümmler Verlag, Bonn).

Niemeier, W. (1986): Observation Techniques for Height Determination and Their Relation to Usual Height System. (In: H.Pelzer, W. Niemeier (Eds.), Precise Levelling, Dümmler Verlag, Bonn, pp.85-108).

Rappleye, H. (1948): Manual of Levelling Computation and Adjustment. Special Publication No. 240, U.S. Coast and Geodetic Survey.

Remmer, O. (1986) : The United European Levelling Network. Present State and Future Plans (In: H. Pelzer, W Niemeier (Eds.), Determination of Heights and Heights Changes, Dümmler Verlag, Bonn, pp.3-5).

Sacher, M., J. Ihde, H. Schoch, D. Gurrulat, R. Molendijk, K. Schmidt (2000) : Preliminary Results of Test Computations as a First Step to a Kinematic Height Network. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromsø, 22-24 June.

Torge, W. (1980): Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin, New York.

Vanicek, P., Castle, D. R., Balasz, E. I. (1980): Geodetic Levelling and Its Application. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol. 18, No. 2, pp. 500-524.

Vanicek, P., Krakwisky, E. J. (1982): Geodesy: The Concept. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York.

Vanicek, P. (1991): Vertical Datum and NAVD88. Surveying and Land Information System. Vol. 51, No.2, pp 83-86.

EKLER:

- EK-A : TUDKA ile ilgili Rapor ve Yayınların Listesi
EK-B : TUDKA Dengelemede İzlenen İşlem Adımları
EK-C : TUDKA Dengeleme Amacıyla Hazırlanan Yazılımların Listesi
EK-D : TUDKA Dengeleme Sonuçları
EK-E : TUDKA Dengelemede Kullanılan Yazılımların Giriş-Çıkış Dosyaları
EK-F : Düğüm ve Ara Düğüm Nokta Yükseklikleri ve Farkları (4 Sayfa)
EK-G : Helmert Ortometrik Yükseklikler ile Normal Ortometrik Yükseklikler Arasındaki 15'x15' aralıklı Farklar (4 Sayfa)
: Molodensky Normal Yükseklikler ile Normal Ortometrik Yükseklikler Arasındaki 15'x15' aralıklı Farklar (4 Sayfa)