

TÜRKİYE ULUSAL DÜŞEY KONTROL (NİVELMAN) AĞI-1992
(TUDKA-92)

M.Emin AYHAN
Coşkun DEMİR

ÖZET

23015 km uzunlukta I ve II nci derece geometrik nivelman geçkisi ve 22156 düşey kontrol noktasından oluşan TUDKA-92'nin her noktasında H^* Helmert ortometrik yüksekliği belirlenmiştir. Nokta yüksekliklerinin duyarlığı $\pm 1cm$; $\pm 9cm$ arasında değişmektedir. Geometrik nivelman ölçülerine refraksiyon, astronomik, mağnetik ve yerkabuğu hareketlerinden kaynaklanan düzeltmeler getirilmemiş, düşey datum Antalya mareograf istasyonundaki 36 yıllık deniz seviyesi ölçüleri ile tanımlanmıştır. Düşey kontrol noktalarının TUDKA-92 yüksekliklerinin halen kullanımda olan normal ortometrik yüksekliklerden farkı $-40cm$ ile $+40cm$ arasında değişmekte ve ortalama $+9.6cm$ olarak belirlenmiştir.

ABSTRACT

TUDKA-92 (Turkish National Vertical Control Network-1992) includes 22156 bench marks and 23015 km lenght of first and second order geometric levelling lines. Helmert orthometric height H^ with the accuracy of $\pm 1cm$ to $\pm 9cm$ was computed at each bench mark. Corrections due to atmospheric refraction, astronomical, magnetic and crustal motions were not taken into account for geometric levelling measurements. Annual mean sea level observations for 36 years at Antalya tide gauge were used for the definition of the vertical datum. The differences between the TUDKA-92 height and the currently used normal orthometric height at the bench marks vary between $-40cm$ and $+40cm$. Mean of the differences is figured out as $+9.6cm$.*

1. GİRİŞ

Savunma ve kalkınma amaçlı harita üretiminde kullanılmak üzere, uygun sıklıkta noktaların yüksekliğini belirlemek amacıyla jeodezik çalışmalar, Türkiye'de 1930'lu yılların sonlarında başlamıştır. Öncelikle Antalya'da bir mareograf istasyonu kurulmuş ve ana karayolları boyunca oluşturulan I ve II nci derece geometrik nivelman geçkileri ile Türkiye parçalara ayrılmıştır. Ölçülerin belirli sürede tamamlanması amaçlandığından I. ve II. nci derece geometrik

nivelmanda gidiş dönüş kapanmaları sırasıyla $4\sqrt{S}$ mm ve $8\sqrt{S}$ mm alınmıştır(S km biriminde geçki uzunluğu). Gravite ağı ile ilgili çalışmalar 1956 yılında başladığından 1970 yılına kadar yapılan ölçülerde düşey kontrol noktarlarında gravite ölçülümemiştir. Başlangıçtan 1970 yılına kadar 19800 km I nci derece ve 8900 km II nci derece geçkinin ilk faz ölçüsü yapılarak düşey kontrol ağı fiilen tesis edilmiştir. Ağdaki noktaların yükseklikleri; Antalya mareografındaki deniz seviyesi ölçüleri ile tanımlanan sıfır noktasından türetilen normal ortometrik yüksekliktir. 1970 li yılların başında yapılan irdeleme sonunda mevcut düşey kontrol ağıının yeniden ölçülmesine, altyapı çalışmaları nedeniyle tahrip edilen geçkiler yerine yenilerinin tesisine ve düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmesine karar verilmiştir. 1973-1991 yılında bu çerçevede 18560 km I nci derece ve 3770 km II nci derece geçki ölçü yenilenmiştir. Halen toplam 6370 km I ve II nci derece geçkinin ölçüsü yenilenmemiştir.

Bu yazında, yenilenen ölçülerin(birkaç yenilenmeyen ölçü de dahil), gravite değerleri de gözönünde bulundurulup değerlendirilerek Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağıının (TUDKA) oluşturulması ele alınmaktadır. TUDKA'nın tesisinin aşağıda belirtilen işlem adımlarında gerçekleştirilmesi düşünülmüştür;

- a. Zamandan bağımsız yükseklik farklarını belirlemek için geometrik nivelman ve gravite ölçülerinin ön işlemi.
- b. Dengelemede ve uygulamada kullanılacak yükseklik sistemini seçmek.
- c. Düşey datumu belirlemek.
- d. Düşey kontrol ağıını oluşturmak.

İlk adım kapsamındaki ön işlemler, daha çok geometrik nivelman ile ölçülen yükseklik farklarını, ölçü aleti (nivo), mira ve fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan sistematik etkilerden arındırmayı içerir (Vanicek v.d.1980; Pelzer 1981; Niemeier 1986). Ön işlemler dengeleme adımda kullanılan yükseklik sistemi türü ile doğrudan bağıntılıdır. Bu çalışmada, IAG (International Association of Geodesy)'nin UELN (United European Levelling Network) alt komisyonuna önerilen, tek anlamlı ve tam diferansiyel olan jeopotansiyel sayılar dengeleme aşamasında yükseklik sistemi olarak seçilmiş ve IGSN-71(International Gravity Standardization Net-1971)'e yakın Düzenlenmiş Potsdam Gravite Datumundaki gravite değerleri kullanılmıştır(Alberda 1963; Kok v.d.1980; Ehrnsperger v.d.1981). Geometrik nivelman ölçülerindeki sistematik düzeltmelerin ay-

rintilleri burada verilmeyecek olup ilgilenenlerin Vanicek v.d.(1980), Pelzer (1981) ve Niemeier (1986)'a bakmaları önerilmektedir. TUDKA oluşturulurken geometrik nivelman ölçülerine getirilen sistematik düzeltmeler 3 ncü bölümde belirtilmektedir. Ayrıca gravite anomali ölçüleri ile yapılan inceleme sonda, Helmert ortometrik yüksekliğinin Türkiye koşullarında uygulamada kullanılacak yükseklik sistemi seçilmesinin uygun olacağı belirlenmiştir (Ayhan-Alp 1989). Seçilen her iki yükseklik sistemi tek anlamlı ve tam diferansiyel olduğundan bir yükseklik sisteminden beklenen temel özellikleri sağlamaktadır (Heiskanen-Moritz 1967).

Bu yazında düşey datum konusu ayrıntılı ele alınmamıştır. TUDKA için düşey datum mareograf istasyonu deniz seviyesi ölçülerinden belirlenmiş olup ilgili açıklamalar 3 ncü bölümde verilmektedir.

Düşey kontrol ağının dengelemesine uygun hesaplama modeli ile ağın güvenirlik ölçütleri bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.

2. DÜSEY KONTROL (NIVELMAN) AĞI DENGELEMESİ

Düşey kontrol ağında I ve II ncı derece geçkilerin birbirleri ile kesişim noktaları düğüm noktası ismi ile bilinir. Düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca belirli aralıkta çok sayıda düşey kontrol noktası bulunur(Örn. TUDKA'da 22156 nokta). Bilinmeyen sayısı fazla ve serbestlik derecesi küçük olan düşey kontrol ağının topluca dengelemesi sorun çıkardığından aynı sonuçların hesaplanması uygun iki aşamalı bir hesaplama modeli uygulanacaktır.

İlk aşamada düğüm noktaları ve aralarındaki geçkiler ile oluşturulan düşey kontrol ağı dengelenmektedir. Geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltme (Örn.ortometrik, dinamik, normal, normal ortometrik) getirilerek düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde yükseklik farkları doğrudan belirlenebilir. Bu yükseklik farklarına uygun dengeleme modelleri oluşturulabileceği gibi tekrarlı ölçülerle zamana bağlı düşey hareketleri hesaplamaya uygun modeller de geliştirilebilir (Kaikkanen 1966; Googe v.d. 1976; Pelzer 1986; Vanicek v.d. 1987). Ancak bu çalışmada geometrik nivelman ve gravite ölçülerinden hesaplanan ΔC jeopotansiyel sayılar ölçü olarak seçilmiş tekrarlı ölçü olmadığı gözönünde tutularak bir model oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise, düğüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayı ve duyarlıklarını gözönünde tutularak, geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlıklarını belirlenmektedir (Vanicek-Krakiwsky 1982). Her iki aşamada uygulanan model aşağıda ayrı ayrı açıklanmaktadır.

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

$$\ell + V = Ax \quad (2.1)$$

ile oluşturulur. Burada ℓ ölçü vektörü, V düzeltme vektörü, x bilinmeyen vektör ve A katsayılar matrisidir. Ölçülerin istatistik özelliklerini topluca ifade eden P ağırlık matrisi,

$$P = \sigma_o^2 \Sigma_{\ell\ell}^{-1} \quad (2.2)$$

ile yazılıp dengelemenin stokastik modeli tanımlanır. Bu eşitlikte σ_o^2 a priori varyans ve $\Sigma_{\ell\ell}$ ölçülerin varyans kovaryans matrisidir. Ölçüler arasındaki korelasyonu ifade etmek amacıyla değişik modeller olmasına karşılık burada ölçüler korelasyonsuz alınmakta ve n ölçü sayısı olmak üzere P matrisi,

$$P = \text{diag}(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (2.3)$$

ile tanımlanmaktadır (Ehrnsperger v.d. 1981; 1986). (2.1) ve (2.2) eşitlikleri dolaylı ölçüler dengelemesi matematik modelini oluşturur. Bu iki eşitlikten $V^T PV \Rightarrow \min$ ilkesini sağlayan normal denklemler

$$A^T PA x = A^T P \ell \quad (2.4)$$

olur. Düğüm noktalarının tamamı bilinmeyen seçildiğinde $(A^T PA)$ matrisi tekil ve rank bozukluğu (d) birdir. Bu nedenle $V^T PV \Rightarrow \min$ ilkesine ek olarak $x^T x \Rightarrow \min$ koşulu tanımlanır ve (2.4)'ün bir çözümü

$$\hat{x} = (A^T PA + GG^T)^{-1} A^T P \ell \quad (2.5)$$

$$Q_{XX} = (A^T PA + GG^T)^{-1} GG^T \quad (2.6)$$

$$\hat{V} = -(P^{-1} - A Q_{XX} A^T) P \ell \quad (2.7)$$

$$Q_{VV} = P^{-1} - A Q_{XX} A^T \quad (2.8)$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{f} \quad (2.9)$$

ile bulunur. Burada Q_{XX} bilinmeyenlerin kofaktör matrisi, Q_{VV} düzeltmelerin kofaktör matrisi, $\hat{\sigma}_o^2$ a posteriori varyans, f serbestlik derecesi ($f=n-u+d$, u bilinmeyen sayı) ve G matrisi $A^T PA$ 'nın sıfır özdeğerlerine karşılık gelen özyeşitörlerinden oluşur. Düşey kontrol ağı için G matrisi (uxl) boyutlu bir vektor olup

$$G^T = \frac{1}{\sqrt{u}} [1 \ 1 \ \dots \ 1] \quad (2.10)$$

ile tanımlanır (Koch, 1980; Heer-Leonhard 1981). En az bir noktanın jeopotansiyel sayısı bilindiğinde $A^T PA$ matrisi düzenli olacak ve $(.)^{-1}$ Cayley inversi ile (2.4)'ün bir çözümü bulunabilecektir.

Jeodezik ağ denelemede bilinmeyenlerin hesabına ek olarak ağıın kalitesi, diğer bir deyişle, aynı ağ bir kez daha ölçülüp dengelendiğinde bulunacak bilinmeyenlerin daha önce hesaplananlar ile ne kadar uyumlu olacağı konusunda istatistik bilgilere gerek duyulur. Sonuçlar arasında fark bulunmasının bir nedeni, denelemenin matematik modeli oluştururlarken öngörülen;

- Ağırlık matrisi, ölçülerin istatistik özelliklerini gerçekçi biçimde tanımlar,
- Ölçü ve bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişkiler doğru ifade edilmektedir,
- Ölçüler arasında uyuşumsuz ölçü yoktur,

varsayımlarının gerçekçi olmamasıdır (Heus 1980; LGR 1982). Bu varsayımların testi için,

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \leq F_{f, \infty; 1-\alpha} \quad (2.11)$$

ile F-testi (global test) uygulanır. Burada f ve ∞ sırasıyla $\hat{\sigma}_o^2$ ve σ_o^2 'nin serbestlik derecesi, $F_{f, \infty; 1-\alpha}$ yanılma olasılığı ile F dağılımı kritik değeridir. (2.11) eşitsizliğinin sağlanmaması öngörülen varsayımların tutarlı olmadığını gösterir. Bunun da daha çok ölçüler arasındaki uyuşumsuz ölçülerden kaynaklandığı düşünülür. Ölçüler korelasyonsuz olduğunda;

$$w_i = \frac{|\hat{v}_i|}{\sigma_o \sqrt{q_{\hat{v}_i \hat{v}_i}}} \quad (2.12)$$

ve

$$|w_i|_{\max} < \sqrt{F_{1, \infty; 1-\alpha}} \quad (2.13)$$

ile tanımlanan w -testi (data snooping) ile ölçüler arasındaki uyuşumsuz ölçüler test edilir. Buradan $q_{v_i v_i} Q_{vv}$ matrisinin i nci diyagonal elemanı, σ_o tek boyutlu testin yanılma olasılığıdır. (2.13) eşitsizliğini sağlamayan ölçülerden w_i değeri en büyük olanı uyuşumsuz ölçüdür ve ölçü kümelerinden çıkarılır (Kavouras, 1982; Kok, 1983).

F- ve W- testleri öngörülen varsayımların gerçek olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Ancak ölçülerde hangi büyülükte hataların ortaya çıkarılabilceği konusunda bilgi vermezler. Bu nedenle, ortaya çıkarılamayan ölçü hataları ile bu ölçü hatalarının bilinmeyenler üzerindeki etkilerini belirten sınır değerleri (iç ve dış güvenirlilik ölçütleri) tanımlanır. F- ve w- testleri ile belirlenebilecek, bir ℓ_i ölçüsünde büyülüğu bilinmeyen $\nabla\ell_i$ hatası için sınır değeri

$$\nabla\ell_i = \sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda_0}{p_i \cdot r_i}} \quad (2.14)$$

ile yazılır. Ağın iç güvenirlilik ölçütü olan ve her ölçü için ayrı ayrı hesaplanan $\nabla\ell_i$; mde (marginal detectable error) ile gösterilir. Burada λ_0 merkezdisi parametre olup

$$\lambda_0 = \lambda(\alpha, \beta_0, f, \infty) = \lambda(\alpha_0, \beta_0, 1, \infty) \quad (2.15)$$

kapalı fonksiyonundan veya α_0 yanılma olasılığı ve β_0 test gücüne bağlı olarak Baarda (1968)'de verilen nomogramlardan belirlenir. r_i ise kısmi serbestlik derecesi ismi ile bilinip

$$r_i = p_i \cdot q_{\hat{v}_i \hat{v}_i} \quad (2.16)$$

ile hesaplanır ve ℓ_i ölçüsünün f serbestlik derecesine katkısını gösterir. r_i değeri aynı zamanda bir ℓ_i ölçüsünün diğer ölçüler tarafından kontrol edilebilirlik ölçütüdür. 0 ile 1 arasında değerler alan r_i 'nin 0 olması bir ölçünün diğer ölçülerle kontrol edilemediğini, 1 olması ise tam kontrol edilebilidğini gösterir (Kavouras, 1982; Gründig-Bahndorf, 1984).

Düşey kontrol ağında $\nabla\ell_i$ değerinin bilinmeyenler üzerinde etkisi $\bar{\lambda}_i^{1/2}$;

$$\bar{\lambda}_i^{1/2} = \sqrt{\nabla\ell_i^T P \nabla\ell_i - \lambda_0} \quad (2.17)$$

ile bulunur (Kok, 1982; 1983). Datumdan bağımsız olan $\bar{\lambda}_i^{1/2}$ değeri ağın dış güvenirlilik ölçütüdür ve homojen olması beklenir. (2.17)'de $\nabla\ell_i$ vektörü

$$\nabla\ell_i^T = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ \nabla\ell_i \ \dots \ 0]$$

ile tanımlıdır.

Yukarıda açıklanan dengeleme modeli ile düğüm noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlığı hesaplanır. Düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının bilinmeyen jeopotansiyel sayı ve duyarlıklarının bulunması düşey kontrol ağ dengelemesinin ikinci aşamasını oluşturur. i ve j' nci düğüm noktasının hesaplanan jeopotansiyel sayıları \hat{C}_i, \hat{C}_j , varyansları $\hat{\sigma}_{ij}^2, \hat{\sigma}_{ij}^2$, kovaryansı $\hat{\sigma}_{ij}$ ve aralarındaki geçki uzunluğu S_{ij} olsun. i ve j düğüm noktalarını birleştiren geçki üzerinde i noktasından başlayarak bir m nci düşey kontrol noktasının \hat{C}_m jeopotansiyel sayısı ve $\hat{\sigma}_m^2$ duyarlığı;

$$\begin{aligned}\hat{C}_m &= \left(1 - \frac{S_{im}}{S_{ij}}\right) (\hat{C}_i + \sum_{k=1}^{m-1} \Delta C_k) \\ &+ \frac{S_{im}}{S_{ij}} (\hat{C}_j - \sum_{k=m}^{M-1} \Delta C_k)\end{aligned}\quad (2.18)$$

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_m^2 &= \left(1 - \frac{S_{im}}{S_{ij}}\right)^2 \hat{\sigma}_i^2 + 2 \frac{S_{im}}{S_{ij}} \left(1 - \frac{S_{im}}{S_{ij}}\right) \hat{\sigma}_{ij} \\ &+ \left(\frac{S_{im}}{S_{ij}}\right)^2 \hat{\sigma}_j^2 + \frac{S_{im}}{S_{ij}} \left(1 - \frac{S_{im}}{S_{ij}}\right) \hat{\sigma}_{\Delta C_{ij}}^2\end{aligned}\quad (2.19)$$

ile bulunur. Burada M i ve j noktaları dahil geçkideki toplam kontrol noktası sayısı, $\hat{\sigma}_{\Delta C_{ij}}^2$ i ve j noktaları arasında jeopotansiyel sayı farkının varyansı, S_{im} ise i ve j noktaları arasında geçki uzunluğuudur (Vanicek-Krakiwsky, 1982).

3. TÜRKİYE ULUSAL DOŞEY KONTROL AĞININ OLUŞTURULMASI

1936-1970 yıllarında anakarayolları boyunca 158 I nci derece ve 87 II nci derece geometrik nivelman geçkisi tesis edilerek düşey kontrol ağının fiilen oluşturulmuştur. Bu ağın iyileştirmek amacıyla ikinci faz ölçüler 1973'de başlamış ve 1992 yılına kadar 151 I nci derece ve 35 II nci derece olmak üzere toplam 22330 km geçki ölçüyü yenilenmiştir. İkinci faz ölçülerini sırasında daha önce ölçülmeyen gravite değerleri düşey kontrol noktalarında ölçülmüştür. Geçkiler boyunca ortalama bir kilometre aralıkta düşey kontrol noktası bulunmaktadır.

Bu çalışmada, ölçüyü yenilenen 186 I ve II nci derece geçki ile yenilmeyen ancak invar mira ile ölçülen 5 I nci derece geçki boyunca tesis edilen 22156 noktadan oluşan düşey kontrol ağının hesabı ele alınmaktadır. Aşağıda öncelikle geometrik nivelman ölçülerine getirilen sistematik düzeltmeler ve jeopotansiyel sayı farklarının hesaplanması açıklanmaktadır, düşey kontrol ağının dengelenmesinden sonra düşey datumun belirlenmesi ele alınmaktadır.

Geometrik nivelman ölçülerinde Wild N3 ve Zeiss N1002 (1988 yılından itibaren) nivoları ile invar miralar kullanılmıştır. Sistematik etkilerin öncelikle uygun ölçü yöntemleriyle giderilmesi düşünülmüş, ölçülerin değerlendirilmesinde Rappleye (1948), TAG (1950) ve Braaten v.d.(1950)'deki önerilere uyulması esas alınmıştır (HGK 1992). İlkinci faz ölçülerde ölçü öncesi ve sonrasında miralar komperator ile kalibre edilerek ölçülere mira ölçek ve ısı düzeltmesi getirilmesi sağlanmıştır. Geometrik nivelman ölçülerinin kontrolü, mira ölçek ve ısı düzeltmesi ile nivo kolimasyon düzeltmesi hesabı LEVEL yazılımı ile yapılmaktadır (Googe v.d. 1976). LEVEL yazılımı ile normal ortometrik düzeltme de hesaplanabilmekte ancak gerçek gravite ile jeopotansiyel yüzeylerin jeodezik paralelliginden kaynaklanan düzeltmeyi belirlemek olanaklı olmamaktadır.

Geometrik nivelman ölçülerinde sistematik hatalara neden olan fiziksel çevre koşullarından kaynaklanan düzeltmeler (refraksiyon, astronomik, mağnetik, yerkabuğu hareketleri) ek parametrelerin ölçülmesi veya bilinmesi ile hesaplanabildiğinden, henüz I ve II nci derece geometrik nivelman ölçülerine getirilmemiştir. Bu düzeltmelerden refraksiyon düzeltmesi, nivo bakış doğrultusunun ileri geri mira yönünde, 0.4 - 2.5 m yükseklikli atmosfer tabakasının farklı kırılma özelliğinde olmasından kaynaklanır. Bu düzeltmenin hesabı için değişik yöntemler geliştirilmiş olup, yöntemlerin hemen tamamı atmosfer ısısının yükseklikle değişimini (düşey gradyen) belirlemeye dayalıdır. ısının düşey gradyeni farklı yükseklikte ısı ölçülerek doğrudan belirlenebildiği gibi atmosfer ısı modelleri veya meteorolojik bilgilerden yararla da hesaplanabilir (Holdahl 1980; Pelzer 1981; Calvert 1983; Heer 1983; Brunner 1984; Stein v.d. 1986). Özellikle yerkabuğu düşey hareketlerini belirlemek için yapılan tekrarlı geometrik nivelman ölçülerinde refraksiyon düzeltmesinin getirilmesi gereklidir. Ay ve güneşin yörüngelerindeki hareketi sırasında kitlelerinin çekim etkisi, ölçü noktasının konumuna, azimut ve zamana bağlı olarak geometrik nivelman ölçülerine astronomik düzeltme getirilmesine neden olur. Bu düzeltme en çok 0.082mm/km büyülüğe ulaşır ve hesaplanması için ölçü zamanı ile nivo-mira doğrultusu azimut değerinin ek parametre olarak belirlenmesi gereklidir (Balazs-Young 1982; Vanicek v.d. 1987). Magnetik düzeltme yanlışca kompansatörlü nivolar için sözkonusu olup nivo-mira doğrultusu azimutuna bağlıdır (Pelzer 1984). 1988 yılından itibaren geometrik nivelman ölçülerinde kullanılan Zeiss N1002 nivosu ile yapılan ölçülere bu düzeltmenin getirilmesi gereklidir. Yerkabuğu hareketleri nedeniyle getirilecek düzeltme ölçü yapılan bölgede düşey hareketlerin modellendirilmesine ihtiyaç duyar. Ülke boyutunda düşey hareketleri belirlemeye yönelik bir çalışma henüz yapılmadığından bu düzeltme gözardiedilmiştir.

1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçülerini sırasında düşey kontrol noktalarında gravite de ölçülmüştür. Değişik nedenlerle gravite ölçülmeyen 1300 civarında düşey kontrol noktasının gravitesi Ayhan-Alp (1988)'de verilen yöntem ile nokta çevresinde 3-5 km sıklıkta gravite noktalarından yararla ± 3 mgal doğrulukta hesaplanmıştır. Böylece düşey kontrol noktalarında IGSN71 sistemine yakın Düzenlenmiş Potsdam Gravite Datumunda gravite belirlenmiştir (Ayhan v.d. 1992).

Geometrik nivelman ölçülerinden sistematik etkiler eleme edilip hem geometrik nivelman hem de gravite ölçülerini olabildiğince zamandan bağımsız duruma getirildikten sonra jeopotansiyel sayı farkı hesabında kullanılmıştır. i ve j düğüm noktaları arasında ΔC_{ij} jeopotansiyel sayı farkı;

$$\Delta C_{ij} = \sum_{k=1}^{K-1} \frac{g_k + g_{k+1}}{2} \Delta n_k \quad (3.1)$$

ile bulunur. Burada K iki düğüm noktasını birleştiren geçki üzerinde düşey kontrol nokta sayısı (düğüm noktaları dahil), Δn iki düşey kontrol noktası yükseklik farkı ve g gerçek gravitedir.

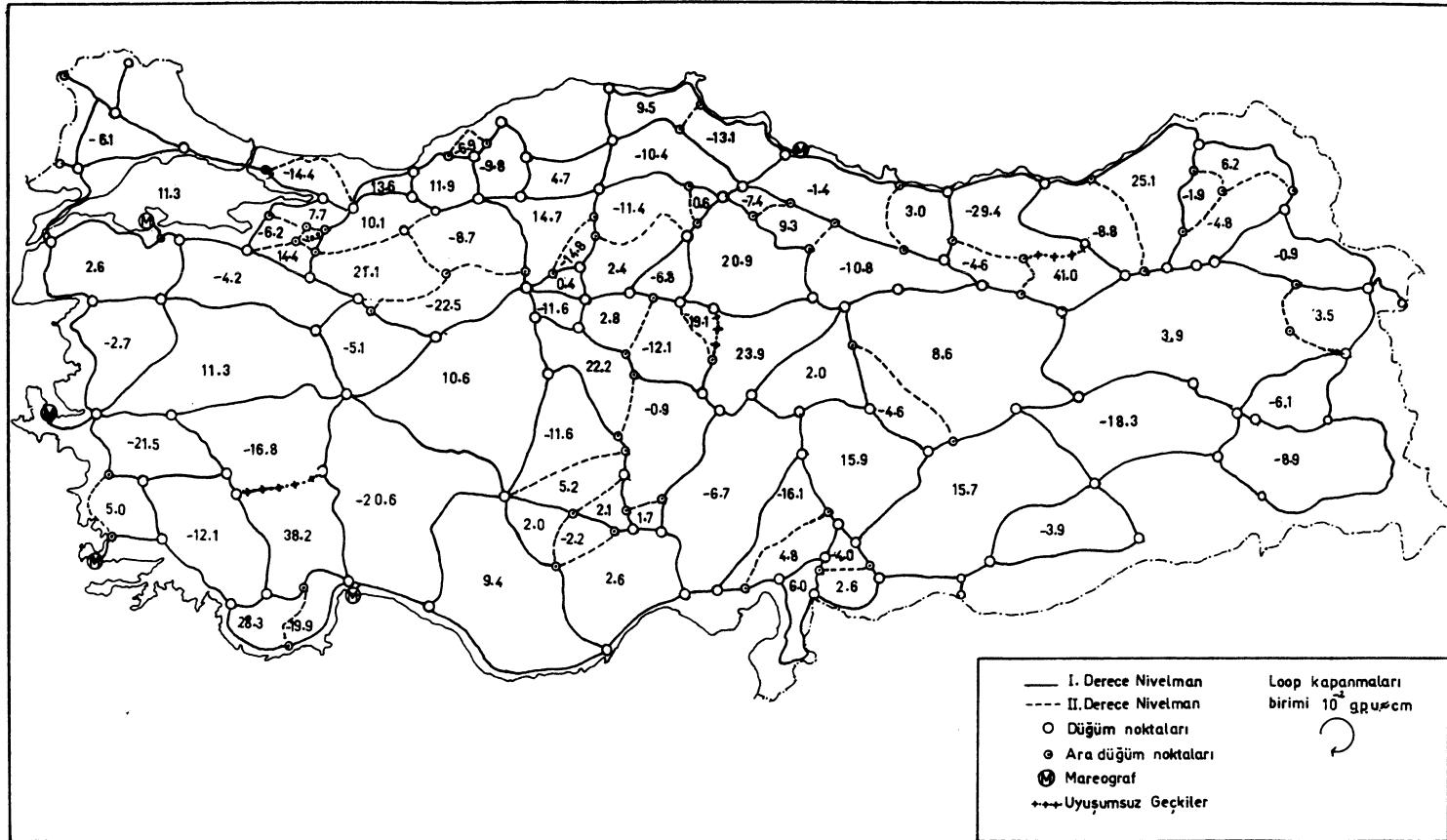
I ve II ncı derece geçkilerin topluca dengelenmesi planlandığından, I ve II ncı derece geçkilerin kesişim noktaları olan 174 düğüm noktası arasında 257 geçki oluşturulup yeni bir ölçü planı hazırlanmıştır (Şekil-1). Yeni ölçü planındaki geçkilerin herbiri için jeopotansiyel sayı farkı (3.1) eşitliği ile belirlenmiştir. Ağdaki luplar için jeopotansiyel sayı farklarından yararla lup kapanmaları da hesaplanmış olup şekil-1'de her lup için ayrı ayrı verilmiştir.

TUDKA oluşturulurken dengelemenin ilk aşamasında jeopotansiyel sayı farkı ölçülerini korelasyonsuz varsayılıp (2.3)'deki ölçü ağırlıklarını,

$$p_i = \frac{200}{t^2 s_i} \quad (3.2)$$

ile belirlenmiştir (Kok v.d. 1980; Ehrnsperger v.d. 1981; 1986). Burada t , 1 km geometrik nivelmanda bulunan yükseklik farkının standart sapması olup I ncı derece geçkiler için 4 mm, II ncı derece geçkiler için 8 mm alınmıştır.

Şekil-1'de ölçü planı verilen ağ önce noktaların tamamı bilinmeyen seçili bölüm 2'de açıklanan model ile serbest dengelenmiştir. Bu dengeleme son-



Şekil-1: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı Ölçüleri ve loop Kapanmaları

rasında $\alpha_0 = 0.001$ ve $\beta_0 = 0.80$ ile uyuşumsuz ölçü testi yapılmıştır. Bu test sonunda üç ölçü uyuşumsuz bulunmuş olup tablo-1'de verilmektedir. Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra yapılan dengelemede $\hat{\sigma}_0$ a posteriori standart sapma ± 0.0148 gpu bulunmuş ve $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı, $f = 84$ serbestlik derecesi, $F_{84,\infty;0.95} = 1.26$ kritik değeri ile uygulanan global testte $1.09 < 1.26$ bulunduğuundan modelin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo - 1 : Uyuşumsuz Ölçüler

Geçki No.	Derecesi	V (m)	w	$F_{1,\infty;1-0.001}$
67B-1	I	0.100	4.46	3.29
23	I	0.112	4.06	
555-1	II	-0.196	3.73	

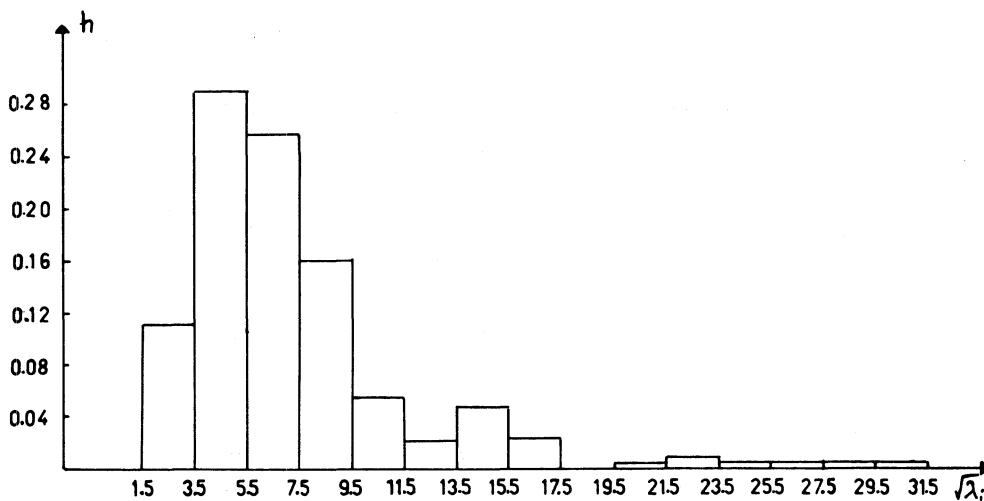
Dügüm noktalarının hesaplanan jeopotansiyel sayılarının duyarlığı ± 0.02 gpu; ± 0.07 gpu arasında değişmekte olup ağıın iç duyarlığı $m_{ic} = \pm 0.044$ gpu bulunmuştur.

Oluşturulan ağıın güvenirliğini belirlemek için önce $\alpha_0 = 0.001$ ve $\beta = 0.80$ değerleri ile Baarda (1968)'de verilen nomogramdan $\lambda_0 = 17.1$ bulunmuştur. Da-ha sonra her ölçü için $\nabla \ell_i$, r_i ile ölçülerin dengeleme öncesi ve sonrası standart sapmaları σ_ℓ_i , $\hat{\sigma}_\ell_i$ değerlerinin en büyük ve en küçük değerleri hesaplanmış olup tablo 2'de I ve II nci derece geçkiler için ayrı ayrı verilmektedir. Ağ içinde r_i değerleri incelendiğinde, r_i 'nin küçük olduğu bölgelerde ağıın ölçü planının geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo - 2 : Dengeleme Sonrası İstatistikler

Geçki Derecesi	σ_ℓ (gpu)	$\hat{\sigma}_\ell$ (gpu)	r	$\nabla \ell$ (gpu)
I	$\pm 0.02 - 0.08$	$\pm 0.02 - 0.05$	0.02 - 0.6	0.18 - 0.44
II	$\pm 0.04 - 0.11$	$\pm 0.03 - 0.06$	0.4 - 0.9	0.23 - 0.52

Ağ içinde homojen dağılım göstermesi beklenen $\bar{\lambda}^{1/2}$ düş güvenirlik ölçütlerinin dağılımı şekil-2'deki histogramda gösterilmektedir. Histogramdan da görülebildiği gibi $\bar{\lambda}^{1/2}$ değerleri 7.26 çevresinde yoğunluk göstermekte ancak büyük değerler aldığı bölgelerde ölçü planının iyileştirilmesi gerektiği düşülmektedir.



Şekil-2 $\bar{\lambda}^{1/2}$ Histrogramı (h = Bağıl Yığılma)

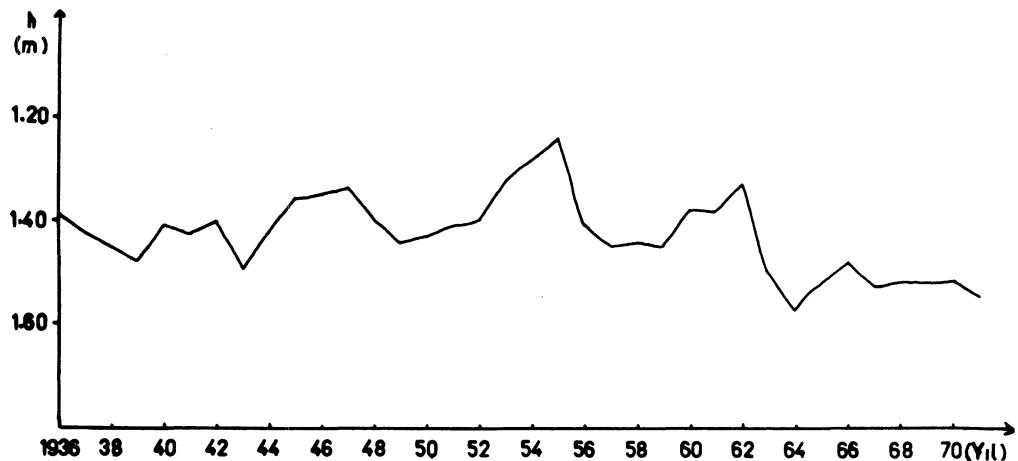
Düğüm noktalarının serbest dengelemede bulunan jeopotansiyel sayıları, düşey datum belirlenmediginden noktaların yaklaşık jeopotansiyel sayılarının tanımladığı ortalama bir sıfır noktasına göredir. Bir diğer deyişle ağ noktalarının tamamı bilinmeyen bir değer kadar yukarı veya aşağıya kaymış durumdadır. Bu kayıklılığı gidermek için düşey datum belirli olmalıdır. Düşey datumu belirlemek amacıyla değişik yöntemler kullanılır (Vanicek 1991). TUDKA için bir düşey datum belirlemek amacıyla Antalya mareograf istasyonunda 1936 - 1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçüleri kullanılmış olup yıllık ortalamalar sayısız olarak tablo-3'de grafik olarak da şekil-3'de verilmektedir (HGK 1992).

Tablo - 3 : Antalya Mareografi Yıllık Ortalamaları (Metre).

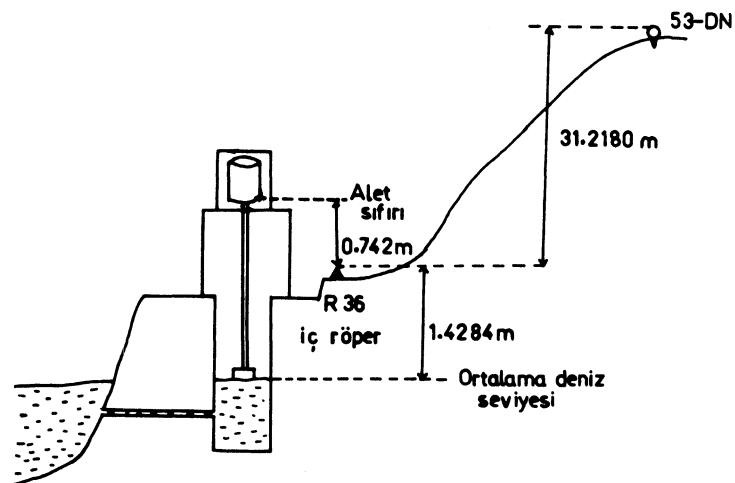
Yıllar	Yıllık Ortalama	Yıllar	Yıllık Ortalama
1936	1.390	1954	1.272
1937	1.425	1955	1.238
1938	-	1956	1.414
1939	1.426	1957	1.450
1940	1.411	1958	1.442
1941	1.436	1959	1.453
1942	1.405	1960	1.377
1943	1.494	1961	1.379
1944	1.425	1962	1.337
1945	1.358	1963	1.507
1946	1.349	1964	1.574
1947	1.338	1965	1.526
1948	1.402	1966	1.480
1949	1.437	1967	1.533
1950	1.434	1968	1.524
1951	1.409	1969	1.520
1952	1.396	1970	1.515
1953	1.317	1971	1.551
ORTALAMA	1.4284 m.		

Tablo-3'de verilen yıllık ortalamalar sistematik etkilerden arındırılmış olan anlık deniz seviyelerinin aritmetik ortalaması ile bulunmuştur. Yıllık ortalamalardan yararla Antalya mareograf istasyonu ortalamaya deniz seviyesi ve mareograf yakındaki R36 röper noktası arasında yükseklik farkı 1.4284 m bulunmaktadır. R36'nın, 53-DN no.1 TUDKA noktası ile bağlantısı da sağlanarak düşey datum belirlenmiştir (Şekil-4).

Sistematik düzeltme getirilmeyen anlık deniz seviyesi ölçüleri uygun yöntemlerle de değerlendirilmediğinden TUDKA için belirlenen düşey datumda kaynaklık beklenmelidir. Bunun yanısıra jeoid ile ortalamaya deniz seviyesi arasındaki yükseklik farkı olan deniz yüzeyi topografyası (SST)'nın Antalya mareografya istasyonu değerinin bilinmeyip gözardı edilmesi düşey datumda ka-



Şekil-3: Antalya Mareografi Deniz
Seviyesi Yıllık Ortalamaları.



Şekil - 4: Antalya Mareograf İstasyonu

yıkılığa neden olmaktadır. Ancak bu aşamada sözkonusu kayıklıkları belirlemek olanaklı olmadığından tablo-3'de verilen yıllık ortalamalardan tanımlanan düşey datumun TUDKA'nın oluşturulmasına karar verilmiştir.

Düşey datum tanımından sonra R36 noktasının jeopotansiyel sayısı ($C_{R36} = 1.3997 \text{ gpu}$) hatasız ve bilinen kabul edilerek düğüm noktalarından oluşan ağ dayalı dengelenmiştir. Bu dengelenmede noktaların jeopotansiyel sayılarının duyarlılığı $\pm 0.01 \text{ gpu}$ ile $\pm 0.09 \text{ gpu}$ arasında değişmektedir.

Düğüm noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlılığı yukarıda açıkladığı gibi belirlenerek TUDKA için oluşturulan dengelenme modelinin ilk aşaması tamamlandı. İkinci aşamada, düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayı ve duyarlılığı (2.18) , (2.19) eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Böylece düğüm noktaları dahil olmak üzere toplam 22156 düşey kontrol noktasının jeopotansiyel sayısı ve duyarlılığı belirlenmiştir.

Bir noktada jeopotansiyel sayı (C) ve gerçek gravite (g) biliniyorken H^* noktanın H Helmert ortometrik yüksekliği;

$$H^* = \frac{C}{g + 0.0424 H} \quad (3.3)$$

ile bulunur (Heiskanen-Moritz, 1967). Burada C gpu, g kgal ve H^* km biriminidir. İkinci aşama sonunda jeopotansiyel sayısı belirlenen düşey kontrol noktalarının H^* ortometrik yükseklikleri (3.3) ile hesaplanarak TUDKA-92 oluşturulmuştur.

TUDKA - 92 nokta yüksekliklerini doğruluk yönüyle incelemek için iki ayrı karşılaştırma yapılmıştır. Bunların ilkinde Samsun mareograf istasyonunda 1961-1971 yıllarında yapılan anlık deniz seviyesi ölçüleri ile istasyonun yakınındaki R61 noktasının yüksekliği belirlenmiş ve TUDKA - 92 değeri ile karşılaştırılmıştır (Tablo-4).

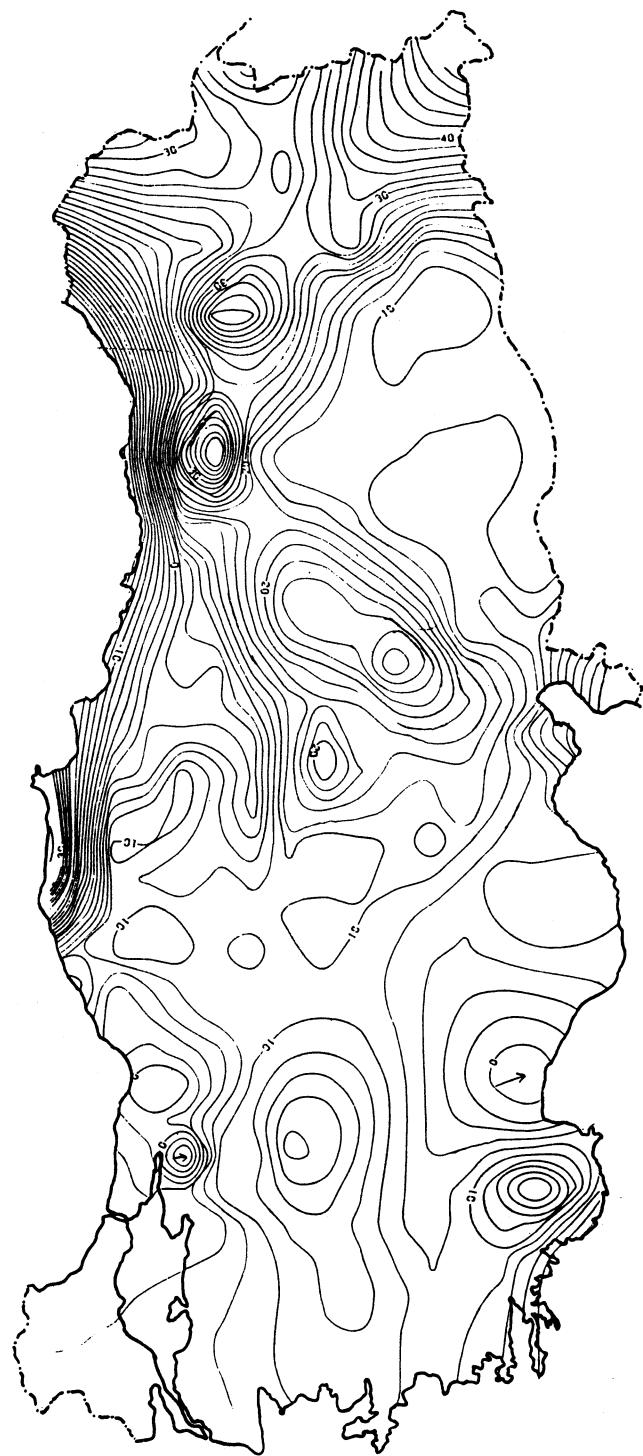
Tablo - 4 : R61 Noktasının Yüksekliği

Nokta	Samsun Ortalama Deniz Seviyesinden	TUDKA-92	Fark
R61	+1.970 m	+2.390 ± 0.08 m	0.42 m

Tablodan R61 noktasının Antalya ve Samsun ortalama deniz seviyelerine dayalı hesaplanan yükseklikleri arasında 0.42m fark olduğu, yüksekliklerin duyarlılığı gözönüne alındığında bu farkın sistematik karakterde olduğu düşünülmektedir. Benzer bir karşılaştırma Antalya ve Karadeniz Ereğlisi mareograf istasyonları için yapılmış ve 0.51 m fark bulunmuştur (Besler 1975). Ayrıca Rapp v.d.(1991)'de Antalya ve Samsun noktalarındaki SST farkının 0.45 m olarak verilmesi de yukarıdaki karşılaştırmada bulunan farkı doğrulamaktadır. Tablo-4'deki farkın Akdeniz ve Karadeniz ortalama deniz seviyelerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci karşılaştırma şekil-1'deki düğüm noktalarında TUDKA-92 değerleri ile bu noktaların halen kullanımda olan değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Ancak öncelikle halen kullanılan yükseklikler konusunda kısa bilgi vermekte yarar görülmektedir. Halen kullanımda olan yükseklikler bölüm 2'de verilen iki aşamalı dengelenme modeline benzer bir yöntemle hesaplanmıştır. Daha çok 1970 öncesindeki geometrik nivelman ölçüleri kullanılmış olup ölçülere refraaksiyon, astronomik, magnetik ve yerkabuğu hareketlerinden kaynaklanan düzeltmeler getirilmemiştir. Ayrıca geometrik nivelman ile ölçülen yükseklik farklarına doğrudan normal gravite ile normal ortometrik düzeltme getirildiğinden yükseklikler normal ortometrik yükseklik sistemindedir. Bu yükseklikler belirlenirken düşey datum yine Antalya mareograf istasyonu anlık deniz seviyesi ölçüleri kullanılmıştır. Bu kısa açıklamadan sonra düğüm noktalarında yapılan bu karşılaştırmada bulunan önemli sonuçların incelenmesine başlanabilir.

Düğüm noktalarında TUDKA-92 ile halen kullanımda olan yükseklikler arasındaki farklar hesaplanmış ve bir fark haritası hazırlanmıştır (Şekil-5). Farklar -40 m ile +40 cm arasında değerler almaktır ve ortalaması +9.6 cm dir. Fark haritası incelendiğinde farkların bölgesel ilginç anomaliler verdiği görülmekte ve şekil-1'de verilen lup kapanmaları incelendiğinde aralarında bir korelasyon belirlenmemektedir. Farkların özellikle Kuzey Anadolu Fay Bölgesinin kuzyeyinde eksi işaretli olması ve farkların anomali gösterdiği bölgelerin plakaların sınır bölgelerine raslaması, bu farkları oluşturan nedenlerden önemli birinin yerkabuğu düşey hareketleri olduğu sonucuna vardırmaktadır.



Şekil-5: Dışey Kontrol Noktalarının Yeni Hessaplanan ve Halen Kullanılan Değerleri Arasındaki
Farklar (cm Biriminde)

4. SONUÇLAR

23015 km uzunlukta I ve II nci derece geçki boyunca 22156 düşey kontrol noktasının H^{*} Helmert ortometrik yüksekliği duyarlıklar ile belirlenerek Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturulmuştur. TUDKA-92' de 1973-1991 yıllarında yapılan geometrik nivelman ve gravite ölçülerine ek olarak 1970 öncesinde ölçülen 5 I nci derece geçki kullanılmıştır. 1970 yıldan önce ölçülen 53 II nci derece geçki ile ilgili değerlendirme çalışmaları halen südügünden TUDKA-92'ye dahil edilmemiştir.

TUDKA-92 noktalarında; C jeopotansiyel sayı ve duyarlığı, H^{*} Helmert ortometrik yüksekliği ve duyarlığı ile düzenlenmiş Potsdam gravite datumunda gravite değeri bilinmektedir. Antalya mareograf istasyonunda 35 yıllık anlık deniz seviyesi ölçülerinden yararlanarak tanımlanan düşey datuma göre yapılan dengelemede jeopotansiyel sayılar ± 0.01 ; ± 0.09 gpm (yaklaşık ± 1 ; ± 9 cm) duyarlıkta bulunmaktadır. Dengeleme sonunda yapılan uyuşumsuz ölçü testlerinde üç geçkinin uyuşumsuz olduğu belirlenmiştir. Ölçü karnelerinin incelenmesinde bir bulgu elde edilemediğinden bu üç geçkinin yeniden ölçülmesinde yarar bulunduğu değerlendirilmektedir.

Dengelemenin ilk aşamasında korelasyonsuz alınan ölçülerin ağırlıkları UELN için uygulanan formülle belirlenmiştir. Ancak ölçüler arasındaki korelasyon gözönünde tutulup ayrıca ölçü duyarlıklarını uygun yöntemler kullanılıp daha doğru belirlenerek dengelemenin stokastik modelini geliştirmekte yarar bulunmaktadır. Böylece daha doğru belirlenecek dengeleme sonrası istatistiklere dayalı test ve yorumların daha anlamlı olmaları sağlanabilir(Vanicek-Krakiwsky 1982; Ebong 1986).

Ağın kalitesini belirlemek amacıyla her ölçü için $\nabla \lambda$, r ve $\lambda^{1/2}$ iç ve dış güvenirlik ölçütleri hesaplanmıştır. Bu ölçütlerin ağıda dağılımı ve değerleri incelendiğinde TUDKA-92 ölçü planının geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu amaçla gidiş dönüş geometrik nivelman kapanması için uygulanan ölçütlerin gözden geçirilmesi ve büyük lupları uygun küçük luplara ayıracak ek geçkilerin planlanması yarar bulunduğu düşünülmektedir.

Refraksiyon, astronomik, magnetik, yerkabuğu hareketlerinden kaynaklanan ve geometrik nivelman ölçülerine henüz getirilmeyen sistematik düzeltmelerin hesaplanması için ek parametrelerin ölçülmesine veya bilinmesine gerek bulunmaktadır. Ayrıca bu düzeltmelere uygun hesap modellerinin mevcut olanaklar gözönünde tutularak belirlenmesi de gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulacak modellerin öncelikle bir test bölgesinde uygulanması daha sonra ülke boyutuna yaygınlaştırılması uygun olacaktır.

Yükseklik, genel anlamda, bir nokta ile seçilen başlangıç yüzeyi arasındaki en kısa uzaklıktır. O halde yükseklik başlangıç yüzeyinin seçimi ile doğrudan bağıntılıdır. Jeodezide başlangıç yüzeyi özel bir eşpotansiyelli yüzey olan jeoid seçilmesine karşılık başka yüzeylerin de seçilme eğilimi vardır (Vanicek v.d. 1987). Düşey datum ise seçilen başlangıç yüzeyi üzerinde birkaç nokta tespit edilerek gerçek yaşamda ifade edilir. Düşey datum belirlemek için değişik yöntemler kullanılmakta olup TUDKA-92 düşey datumu Antalya mareograf istasyonunda anlık deniz seviyesi ölçülerinden yararla tanımlanmıştır. Ancak anlık deniz seviyesi ölçülerine fiziksel çevre koşullarından (Örn. gelgit, ısı, basınç v.b.) kaynaklanan düzeltmeler getirilmemiş ve uygun değerlendirme yöntemi uygulanmamıştır. Bu nedenle öncelikle anlık deniz seviyesi ölçülerine düzeltmeleri getirip değerlendirmenin yapılması ve ayrıca SST'nin belirlenmesi gerekmektedir. Düşey datumun GPS' ve SLR ölçülerıyla de belirlenmesi planlanmış ancak çalışmalar henüz sonuçlanmamıştır.

TUDKA-92 yüksekliklerinin halen kullanıldığımda olan yüksekliklerden farklılarının -40cm ile 40cm arasında değerler alması ve ortalama 9.6cm fark bulunması ciddi bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Bilindiği gibi yatay kontrol(nirengi)nokta yükseklikleri düşey kontrol noktalarına dayalı ve trigonometrik ölçülerle belirlenmektedir. Mevcut çok sayıda yatay kontrol noktası yüksekliğinin yeniden hesaplanması gerekmektedir. Bunun için ya mevcut ölçülerle trigonometrik yükseklik hesabının yenilenmesi veya daha pratik yöntemlerin geliştirilip uygulanması gerekiği düşünülmektedir. Ayrıca bu farklıların, özellikle yerka-ğu plakalarının sınırları çevresinde anomaliler göstermesi Türkiye'de düşey kabuk hareketlerinin önemli noktalara ulaştığı biçiminde yorumlanabilir. TUDKA-92 belirlenirken 1973-1991, halen kullanıldığımda olan yüksekliklerin hesabında ise çoğunlukla 1936-1970 yıllarında yapılan geometrik nivelman ölçülerini kullanılmış olması düşey kabuk hareketleri ile ilgili yorumu destekler niteliktedir. Eğer bu yorum doğru ise Karadenizin altındaki plakanın Anadolu plakasının altına doğru girdiği veya Kuzey Anadolu Fay Bölgesinde Anadolu plakasının yükselme eğiliminde olduğu söylenebilir.

Günümüzde zaman kavramı dördüncü bir boyut jeodezik çalışmalarına girmektedir (Vanicek v.d. 1987). Nitekim statik ağ olarak kuruluşu tamamlanan UELN' in nokta yüksekliğindeki değişim hızının da belirli olacağı kinematik ağ'a dönüştürülmesi düşünülmektedir. (Remmer, 1986). Türkiye'nin aktif yerka-ğu hareketleri etkisinde olduğu gözönünde bulundurularak TUDKA-92'nin gelecekte kinematik ağ'a dönüştürülmesi ve şimdiden ilgili planlamaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Alberda,J.E. : Report on the adjustment of the United European Levelling Net and Related Computations.Netherlands Geodetic Commission, 1963.
- /2/ Alberda,J.E. : Aspects of Large Levelling Nets. The Canadian Surveyor Vol.28, No.5, pp.643-652, 1974.
- /3/ Ayhan,E.,O.Alp. : Serbest Hava Anomali Kestirim Yöntemleri ve Yöntemlerin Karşılaştırılması. Harita Dergisi,Sayı 101, 1988.
- /4/ Ayhan,E.,C.Demir, Alas,B. : Türkiye Temel Gravite Ağrı 1956 (TTGA-56)'nın Yeniden Dengelenmesi. Harita Dergisi,Sayı 108,1992.
- /5/ Baarda,W. : A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. New Series Vol.2, No.5, Delft, 1968.
- /6/ Balazs,E.I., Young,G.M. : Corrections Applied by the National Geodetic Survey to precise Levelling Observations. NOAA Tech. Memo. NOS NGS 34, 1982.
- /7/ Besler,S. : Akdeniz ve Karadeniz Arasında Hassas Nivelman ile Yükseklik Farkı Araştırması, TUGGB Yayınları,No. 6, 1975.
- /8/ Braaten,Dore, Kukkamaki,Rune, Vignal. : Note on the Evaluation of the Precision of Leveling. Bull. Geod.,No.18,pp.522-548, 1950.
- /9/ Brunner,F.K.(Ed) : Geodetic Refraction. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, Newyork, 1984.
- /10/ Calvert,C.E. : Investigation into Refraction Aspects on Geodetic Levelling. Draft.Oxford, 1983.
- /11/ Ebong,M.B. : On the Choice of a Random Variable Which Eliminates the Bias Caused by Variable Spacing in Geodetic Levelling. Bull. Geod. Vol.60,No.4,1986.
- /12/ Ehrnsperger,W., Kok,J.J., Mierlo,V.J. : 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, 1981.

- /13/ Ehrnsperger,W., Kok,J.J. : Status and Results of the 1986 Adjustment of the United European Levelling Network-UELN-73. (In:H.Pelzer,W.Niemeier(Eds.), Determination of Heights and Heights Changes, Dümmler Verlag, Bonn, pp.7-45, 1986).
- /14/ Googe ,W.D.,C.F.Leroy,: Level and Circuit. Defense Mapping Agency Skaggs,H.H. Topography Center, 1976.
- /15/ Grundig,L.,J.Bahndorf.: Accuracy and Reliability in Geodetic Networks. Program System OPTUN.Jour.of Surv. Eng.,Vol. 110, No.2, pp.133-145, 1984.
- /16/ Heer,R.,T.Leonhard : A Method for Detection Vertical Soil Movements From Scattered Levelling Nets, Applications on the First Precise Levelling Nets of Hamburg, Proc.Int.Sym.on Geodetic Networks and Computations, Munich, pp.25-44, 1981.
- /17/ Heer,R. : Application of Different Refraction Models on Measuring Resuts of the "Levelling Test Loop Koblenz".(In:H.Pelzer,W.Niemeier(Eds.), Precise Levelling, Dümmler Verlag, Bonn,pp.251-281, 1983).
- /18/ Heiskanen,W., Moritz,H. : Physical Geodesy. Freeman, Newyork, 1967.
- /19/ HGK : Nivelman Çalışmaları Teknik Talimatı(Taslak). Harita Genel Komutanlığı, Ankara, 1992.
- /20/ Heus,H.De. : Data Snooping in Control Networks. International Federation of Surveyors, Proceedings Survey Control Networks Heft 7, München,1981.
- /21/ Holdahl,S.R. : Time and Heights, The Canadian Surveyor,Vol. 28, No.5, pp.709-715, 1974.
- /22/ Holdahl,S.R. : Height Systems For North America, Proc.First Int.Con.on Redefinition of the North American Geodetic Vertical Control Network, 1979.

- /23/ Holdahl,S.R. : A Model of Temperature Stratification for Correction of Levelling Refraction. Bull.Geod.Vol. 55, No.3,pp.231-249, 1981.
- /24/ IAG : International Resolutions Relative to Precision Levelling.IUGG General Assembly,Oslo , 1948.
- /25/ Kavouras,M. : On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks,University of New Brunswick, Frediction,N.B.Canada, Technical Report No.87,1982.
- /26/ Koch,K.R. : Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models. Dümmler Verlag,Bonn,1980.
- /27/ Kok,J.J., Ehrnsperger,W. Rietveld,H. : The 1979 Adjustment of the UELN and Its Analysis of Precision and Reliability. Proc. 2 nd NAD Sym. For Vertical Geodetic Networks, Ottawa, Canada, 1980.
- /28/ Kok,J.J. : Statistical Analysis of Determination Problems Using Baarda's Testing Procedures. In: Forth Years of Though. Vol.2,pp.469-488, 1982.
- /29/ Kok,J.J. : On Testing and Reliability in Levelling Networks. (In:H.Pelzer,W.Niemeier (Eds.); Precise Levelling, Dümmler Verlag,Bonn,1983).
- /30/ LGR : The Delft Approach for the Design and Computation of Geodetic Networks.Forth Years of Though Vol.1,pp.202-274, 1982.
- /31/ Niemeier,W. : Some Aspects of the Errors in Levelling Networks. (In:H.Pelzer,W.Niemeier(Eds.),Precise Levelling, Dümmler Verlag, Bonn,1983).
- /32/ Niemeier,W. : Observation Techniques for Height Determination end Their Relation to Usual Height Systems.(In: H.Pelzer,W.Niemeier(Eds.). Determination of Heights and Heights Changes,Dümmler Verlag,Bonn, pp.85-108, 1986).
- /33/ Pelzer,H. : Error Propagation in Levelling Networks.Proc.Int. Sym.On Geodetic Networks and Comp.Munich,pp.104-114, 1981.

- /34/ Pelzer,H. : Height Determination-Adjustment Models for Combined Data Sets.(In:H.Pelzer,W.Niemeier(Eds.), Determination of Heights and Heights Changes Dümmler Verlag,Bonn,pp.85-108,1986).
- /35/ Rapp,R.H., Wang,Y.M., Pavlis,N.K., : The Ohio State 1991 Geopotential and Sea Surface Topography Harmonic Coefficient Models.OSU,Dept. of Geod.Sci.and Surv.,Rept.No.410,Columbus,Ohio, 1991.
- /36/ Rappleye,H. : Manual of Levelling Computation and Adjustment. Special Publication No:240,U.S.Coast and Geodetic Survey, 1948.
- /37/ Remmer,O. : 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, 1986).
- /38/ Stein,R.S.,H.Whalen : Saugus-Palmdale,California Field Test for Refraction Error in Historical Levelling Surveys.JGR, Holdahl,S.R., Vol.91, No.B9, pp.9031-9044, 1986.
W.E.Strange,
Thacher,W.
- /39/ Vanicek,P., Castle,D.R., Balazs,E.I. : Geodetic Levelling and Its Application.Reviews of Geophysics and Space Physics,Vol.18,No.2,pp.500-524, 1980.
- /40/ Vanicek,P., Krakiwsky,E.J. : Geodesy:The Concept.North Holland,Amsterdam 1982.
- /41/ Vanicek,P.(Ed.) : Four-Dimensional Geodetic Positioning.Manuscripta Geodaetica,Vol.12,pp.147-222,Springer Verlag,1987.
- /42/ Vanicek,P. : Vertical Datum and NAVD 88. Surveying and Land Information System. Vol.51,No.2,pp.83-86,1991.