

ELEKTROMAGNETİK UZAKLIK ÖLÇERLERİN KONTROL VE KALİBRASYONLARI İÇİN TESİS EDİLEN KALİBRASYON BAZLARI VE İLK ÖLÇME SONUÇLARI

Prof. Dr. Ahmet AKSOY
Doç. Dr. Tevfik AYAN
Doç. Dr. İ.Hakkı GÜNEŞ
Yard. Doç. Dr. Rasim DENİZ

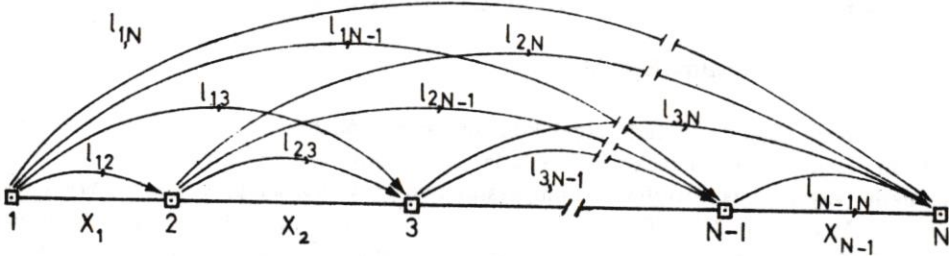
1- KONTROL BAZLARININ ZORUNLULUĞU

Uzunluk ölçmelerinin sonuçları fiziksel olarak tanımlanan bir uzunluk birimine göre belirlenir. Bu nedenle elektriksel olarak uzunluk belirleyen tüm elektromagnetik uzaklık ölçerler kalibre edilmelidirler.

Bir elektromagnetik uzaklık ölçenin alet parametreleri olarak adlandırılan "faz farkı ölçme fonksiyonu", "modülasyon frekansı" elektriksel olarak ve "sıfır noktası eki değeri" laboratuvarındaki kontrol bazlarındaki kalibrasyon ölçmeleri ile belirlenir. Elektromagnetik uzaklık ölçerler üzerine yapılan araştırmalar; alet parametrelerinin zamanla değiştiğini ve bu değişmelerin tekrarlı ölçmelerle belirlenemeyen sistematik hatalar oluşturduğunu, bir elektromagnetik uzaklık ölçerle doğru ve güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için bu aletlerin periyodik olarak kontrol ve kalibre edilmeleri gerektiğini göstermiştir.^{1 2}

Uzaklık ölçerlerin alet parametrelerinin zamanla değişip değişmediklerinin belirlenmesi "kontrol" ve eğer değişmişler ise alet parametrelerinin veya ölçülerin buna göre düzeltilmesi "kalibrasyon" olarak adlandırılır. Bir uzaklık ölçerinin kontrolü laboratuvarında veya arazi ölçmeleriyle yapılabilmektedir. Daha genel koşulları içerdiğinden ve bu koşullarda yapılan ölçmelerde aletin a priori karesel kenar ölçme hatası da belirlenebildiğinden arazideki ölçmeler ile kontrol ve kalibrasyon yöntemleri daha fazla önem kazanmıştır. Arazi ölçmeleri ile kontrol ve kalibrasyon yöntemleri arasında ise, uygulanabilirlik ve sonuçların güvenilirliği açısından "kesit yöntemi" en uygun yöntem olarak seçilmektedir.

Kesit yönteminin esası, aynı doğrultuda tesis edilen noktaların oluşturduğu "kontrol bazı"nda noktalar arasındaki uzunlukların kombinasyon yöntemiyle ölçülmesi ve bu ölçülerin uygun bir matematik modele göre değerlendirilmesidir (Şekil 1).



Şekil 1 - Kontrol bazında ölçme şeması

2- KONTROL BAZLARININ TASARIMI VE TESİSİ

Kontrol bazlarının nokta sayısı ve noktalar arasındaki uzaklıklar (ara uzaklıklar); bu bazlar da kontrol edilecek aletlerin birim uzunlukları, bu aletlerle ölçülmesi düşünülen en kısa ve en büyük uzunluklar, belirlenmek istenen alet parametreleri ve bunların beklenen doğruluklarına bağlı olarak seçilir.

Eğer kontrol bazında, sıfır noktası eki ve modülasyon frekansı (ölçek) belirlenmek istenirse bu bazda yapılan ölçülerin faz farkı ölçme hatasından etkilenmemesi ve bunun için de ara uzunlukların birim uzunluğun tam katmanları olması gerekir. Ayrıca oluşan tüm uzunluk kombinasyonları, bazın en kısa kenarı ile en uzun kenarı arasında düzgün dağılımalıdır. Bu tip bir kontrol bazı aşağıdaki biçimde tasarlanabilir.

- U = Kontrol edilecek aletin birim uzunluğu
A = Ölçmede karşılaşılabilecek en kısa kenar (U'nun tam katı)
C₀ = Kontrol bazının yaklaşık toplam uzunluğu alırsa,

$$B_0 = \frac{1}{\binom{N-1}{2}} [C_0 - (N-1) A] \quad (1)$$

eşitliğinden B₀ bulunur. Burada N; kontrol bazında düşünülen nokta sayısıdır. Hesaplanan B₀ birim uzunluğun en yakın tam katına yuvarlatılarak B yardımcı büyüklüğü elde edilir. Kontrol kenarının ara uzunlukları Çizelge 1'den hesaplanır.

Kontrol kenarında uzaklık ölçerinin faz farkı ölçme fonksiyonu da kontrol edilmek istenirse, oluşacak uzunluk kombinasyonlarında birim uzunluğun kesirlerinin de düzgün dağılmış olması gerekir. Bu tip bir kontrol bazının ara uzunluklarının hesabı için önce Çizelge 2'den B₀ ve D büyüklükleri hesaplanır. B₀, birim uzunluğun en yakın tam katına yuvarlatılarak B yardımcı büyüklüğü bulunur. Kontrol kenarının ara uzunlukları ise Çizelge 3'ten alınır. Uzunluk tekrarıdan sakınmak için B ≠ A alınmalıdır.

Kontrol bazları, yerel hareketlerin bulunmadığı, az eğimli, her yerinde aynı top- rak, bitti ve aydınlatma koşullarının bulunduğu yerlerde pilyeler biçiminde tesis edilme- lidir.

3- KONTROL BAZLARINDA YAPILAN ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1- Genel Düzeltme Eşitlikleri

Kontrol bazında aletlerin ölçek kontrollerinin yapılabilmesi için baz ölçeklendiril- melidir. Kontrol bazları mekanik araçlarla (invar şerit veya tel), enterferometrik yön- temlerle (vayzele ışık enterferans komparatonu vb.) veya yüksek presizyonlu uzaklık öl- çerlerle (Mekometre ME 3000, Geomensor, Tellünometre MA 100 vb) ölçeklendirilebilir.

Şekil 1'deki biçimde ölçülen bir kontrol bazında, bazın ölçeksiz olması durumun- da genel düzeltme eşitliği,

Çizelge : 1

ARA UZAKLIK \ N	4	5	6	7	8
1	A + B	A + B	A + B	A + B	A + B
2	A+2B	A+3B	A+3B	A + 3B	A+3B
3	A	A+2B	A+4B	A + 5B	A+5B
4	-	A	A+2B	A + 4B	A+6B
5	-	-	A	A + 2B	A+4B
6	-	-	-	A	A+2B
7	-	-	-	-	A
TOPLAM UZUNLUK	3A+3B	4A+6B	5A+10B	6A+15B	7A+21B

Çizelge : 2

N	5	6	7	8
B _o	$\frac{1}{6}(C_o - 4A - U)$	$\frac{1}{10}(C_o - 5A - U)$	$\frac{1}{15}(C_o - 6A - U)$	$\frac{1}{21}(C_o - 7A - U)$
D	$\frac{1}{16} U$	$\frac{1}{25} U$	$\frac{1}{36} U$	$\frac{1}{49} U$

$$v_{ij} = x_i + x_{i+1} + \dots + x_{j-i} + K_{O_o} + \quad (2)$$

$$+ K_{11} \cos \Delta \phi_{ij} + K_{12} \sin \Delta \phi_{ij} + \dots - D_{ij} \quad (i = 1, N-1; j = 2, N)$$

yazılabilir. Burada;

- i = Alet kurulan nokta
- j = Yansıtıcı kurulan nokta
- x = Bilinmeyen olarak ara uzaklık

Çizelge : 3

ARA UZAKLIK \ N	5	6	7	8
1	A + B + 3D	A + B + 3D	A + B + 3D	A + B + 3D
2	A + 3B + 7D	A + 3B + 7D	A + 3B + 7D	A + 3B + 7D
3	A + 2B + 5D	A + 4B + 9D	A + 5B + 11D	A + 5B + 11D
4	A + D	A + 2B + 5D	A + 4B + 9D	A + 6B + 13D
5	-	A + D	A + 2B + 5D	A + 4B + 9D
6	-	-	A + D	A + 2B + 5D
7	-	-	-	A + D
TOPLAM UZUNLUK	4A+6B+16D	5A+10B+25D	6A+15B+36D	7A+21B+49D

K_{O_0} = Alet - yansıtıcı sistemin sıfır noktası eki

K_{11}, K_{12} = Fourier, katsayıları (faz farkı ölçme fonksiyonu belirlemek için)

D_{ij} = İndirgenmiş uzunluk

$$\Delta\phi_{ij} = \frac{n \cdot U - D_{ij}}{U} \quad (\text{daima } n \cdot U > D_{ij}) \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

U; birim uzunluk, n; tamsayı, N = Kontrol kenarındaki nokta sayısıdır. En küçük kareler yöntemiyle ölçülerin dengelenmesi sonucu ara uzunluklar, sıfır noktası eki ve Fourier katsayıları bulunur. Buradan uzaklık ölçerin faz farkı ölçme fonksiyonu;

$$F_z = A_1 \sin(\Delta\phi + \rho_1) \quad (3)$$

olarak elde edilir. Burada;

$$A_1 = (K_{11}^2 + K_{12}^2)^{1/2}, \rho_1 = \arctan\left(\frac{K_{11}}{K_{12}}\right) \quad (4)$$

eşitliklerinden bulunur.

Eğer kontrol bazı ölçeklendirilmiş ise genel düzeltme eşitliği;

$$\begin{aligned} \nu_{ij} = & K_{O_0} + K_{11} \cos\Delta\phi_{ij} + K_{12} \sin\Delta\phi_{ij} + \\ & + \dots + S_{ij}\alpha + S_{ij} - D_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

dir. Burada;

α = Modülasyon frekansı hatası (ölçek hatası)

S = Bilinen uzunluk

tur. Faz farkı ölçme fonksiyonu laboratuvar ölçmeleri ile belirlenirse (2) ve (5) No'lu düzeltme eşitlikleri sadeleşecek ve bilinmeyen sayısı azalacaktır. Bu durumda yalnızca ölçek katsayısı ve sıfır noktası ekini bilinmeyen olarak içeren düzeltme denklemleri;

$$\nu_{ij} = K_{O_0} + S_{ij}\alpha - D_{ij} \quad (5a)$$

ve ölçek katsayısı düzeltme denklemleri;

$$\nu_{ij} = x_i + x_{i+1} + \dots + x_{1-j} + K_{O_0} + D_{ij}\alpha - D_{ij} \quad (5b)$$

olacaktır.

3.2- Dengeleme Sonuçlarının İstatistik Yöntemlerle İrdelenmesi

Dengeleme sonuçlarının matematik istatistik yöntemlerle irdelenebilmesi için, bunların dağılımlarının bilinmesi gerekir. Bu dağılımların belirlenmesinde, dengelemeye giren ölçülerin çok değişkenli normal dağılımda oldukları varsayılır. Diğer bir ifade ile Varyans-Kovaryans matrisi Σ olan ℓ ölçüler vektörünün olasılık fonksiyonu $f(\ell)$, ümit değerleri vektörü $E(\ell) = \mu$ ile,

$$f(\ell) = \frac{1}{(2\pi)^n/2(\det \Sigma)^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(\ell - \mu)' \Sigma^{-1}(\ell - \mu)\right) \quad (6)$$

olduğu varsayılmaktadır ve ℓ nin Σ ve μ parametreleri ile normal dağılımda olduğu

$$\ell \sim N(\mu, \Sigma) \quad (7)$$

gösterimi ile ifade edilmektedir.

x bilinmeyen parametreler vektörü, A dizayn matrisi, P ölçülerin ağırlık matrisi ve σ^2 birim ölçünün varyansı olmak üzere, verilen A ve P matrisleri ile Gauss-Markoff modeli ile en küçük kareler yöntemine göre dengelemede, bilindiği gibi,

Fonksiyonel model : $E(\ell) = \mu = Ax$

Stokastik model : $\sigma^2 P^{-1} = \Sigma$

(8)

olmakta ve tahmin değerleri (dengeleme sonuçları)

$$x = (A'PA)^{-1} A'P\ell = Q_{xx}A'P\ell$$

$$V = (AQ_{xx}A'P - I)\ell$$

$$\ell = A Q_{XX} A' P \ell \quad (9)$$

eşitlikleri ile verilmektedir. Burada V, düzeltmeler, $\ell = A x + V$ bağıntısı ile dengelenmiş ölçü değerleri, I birim matris, (A') A'nın transpoze matrisidir.

Dengeleme sonuçları, ölçülere lineer bağımlı oldukları için, bunlar da normal dağılımdadır ve

$$\begin{aligned} x &\sim N(x, \sigma^2 Q_{XX}) \\ V &\sim N(Q, \sigma^2 (P^{-1} - A Q_{XX} A')) \\ \ell &\sim N(Ax, \sigma^2 A Q_{XX} A') \end{aligned} \quad (10)$$

olur.

Diğer taraftan $E(M_0^2) = \sigma^2$ olmak üzere,

$$M_0^2 = \frac{V'PV}{n-u} = \sigma^2 \text{ ya da } \Omega = V'PV \text{ ile } M_0^2 = \frac{\Omega}{n-u} \quad (11)$$

eşitliği ile verilmekte olup, V normal dağılımlı rastlantısal değişkenlerden oluşan $\Omega = V'PV$ karesel formundan, Ω/σ^2 büyüklüğü, n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı olmak üzere, (n-u) serbestlik dereceli Si-Kare dağılımındadır ve

$$\frac{\Omega}{\sigma^2} \sim \chi^2 (n-u)$$

gösterimi ile ifade edilir.

(8) eşitlikleri ile verilen model, "yalın Gauss-Markoff Modeli"dir. Bu modelde hesaplanan bilinmeyenlerin yalnızca $V'PV = \min$ koşulunu sağlaması istenir.

Belirlenecek bilinmeyen (\hat{x}) lerin, bu koşul yanında ayrıca

$$H X = W \quad (12)$$

şartını da gerçekleştirmesi istenirse, "şart denklemlili Gauss-Markoff modeli" (şart denklemlili dolaylı ölçüler dengelemesi) söz konusu olur. Burada H matrisi ve W vektörü verilen büyüklüklerdir ve (11) eşitlikleri $r < u$ olmak üzere r sayıda lineer denklem oluşturur.

(11) şartlarını da sağlayacak X bilinmeyenlerine bağlı olarak bulunacak $\Omega_H = V'PV$ karesel formu yalın modeldeki Ω karesel formundan büyüktür ve aradaki farkı R denirse,

$$\Omega_H = \Omega + R \quad (13)$$

olur. R büyüklüğü de bir karesel formdur ve (11) şart denklemleri dengelemeye sokulmadan, yalın modelde elde edilen büyüklüklerden,

$$R = (HX - W)' (H Q_{XX} H')^{-1} (HX - W) \quad (14)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. (K.R.Koch, 1980, s. 177). Diğer taraftan X, (10) eşitliği ile normal dağılımda olduğu için, buna lineer bağımlı $HX - W$ vektörü de,

$$(HX - W) \sim N(HX - W, \sigma^2 HQ_{XX}H') \quad (15)$$

olmak üzere normal dağılımdadır ve dolayısıyla R karesel formu,

$$\frac{R}{\sigma^2} \sim \chi^2(r) \quad (16)$$

olarak, r serbestlik derecesinde χ^2 dağılımındadır.

Ω ve R karesel formları birbirinden bağımsızdır (K.R.Koch 1980, s. 236). Bu nedenle

$$\frac{R/r}{\Omega/(n-u)} \text{ oranı}$$

r ve n - u serbestlik dereceli F(Fisher)-dağılımındadır ve

$$\frac{R/r}{\Omega/(n-u)} \sim F(r, n-u) \quad (17)$$

gösterimi ile ifade edilir.

Bu sonuç, dolaylı ölçüler dengelemesinde hesaplanan bilinmeyenlerin ümit değerlerinin (gerçek değerlerinin) belli bir büyüklükte olup olamayacaklarının irdelenmesi için kullanılır. Örneğin;

$$E(X_i) = X_i = a, \quad E(x_j) = X_j = b$$

alınıp alınmayacağına testi için sıfır hipotezi:

$$H_0; X_i = a$$

$$X_j = b$$

Şart denklemleridir. (11) ile karşılaştırılırsa;

$$H = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & i & \dots & j & \dots & u \\ \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} & 0 & 0 & 0 \dots & 1 \dots & & 0 \dots & & 0 \\ & 0 & 0 & 0 \dots & 0 \dots & & 1 \dots & & 0 \end{matrix} \quad (18)$$

ve

$$W = \begin{matrix} & & & & a \\ & & & & b \end{matrix} \quad (19)$$

olmak üzere

$$H_0 ; HX - W = 0 \quad (20)$$

ve alternatif hipotez

$$H_1 ; HX - W \neq 0$$

olacaktır. (11), (14), (18) ve (19) eşitlikleri ile hesaplanacak büyüklüklerle, sıfır hipotezinin geçerli sayılabilmesi için, (17) den

$$T = \frac{R/r}{\Omega/(n-u)} = \frac{R}{r \cdot M_0^2} \quad (21)$$

test büyüklüğünün, alınacak bir α test nivosuna göre (genellikle $\alpha = 0,05$) r ve $n - u$ serbestlik derecesinde F-Dağılım tablolarından bulunabilecek $F_{1-\alpha; r, n-u}$ fraktil değerinden küçük olması gerekir. Diğer bir ifade ile,

$T < F$ için sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz,

$T > F$ için sıfır hipotezi geçersiz sayılır. X değerleri hipotezle kabul edilen değerlerden signifikant (anlamlı) farklıdır.

Elektronik uzaklık ölçerlerin kalibrasyonunda, dengeleme bilinmeyenleri (2) modelinde X ara uzunlukları, K_{00} sıfır noktası eki ve K_{ij} Fourier katsayılarıdır. Sıfır hipotez olarak,

$$K_{00} = 0$$

$$K_{11} = 0$$

$$K_{12} = 0$$

şart denklemleri alınabilir. Bu durumda N nokta sayısı ile

$$H = \begin{array}{cccccc} X_1 & X_2 & X_{N-1} & K_{00} & K_{11} & K_{12} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array} \quad (22)$$

olacaktır. $X' = |X_1 X_{1+1} \dots X_{j-1} K_{00} K_{11} K_{12} \dots|$ ile sıfır hipotezi

$$H_0 ; HX = 0$$

ve (14)'ten R karesel formu

$$R = (HX)' (HQ_{xx}H')^{-1} HX \quad (23)$$

olur. (5a) modelinde sıfır hipotezi olarak şart denklemleri;

$$K_{00} = 0$$

$$\alpha = 1$$

alınır. Bu durumda; $X' = |K_{00} \alpha|$

$$H = \begin{matrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix}, W = \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix}, Q_{xx} = \begin{matrix} q_{k_{00}} & q_{k_{00}, \alpha} \\ q_{\alpha, k_{00}} & q_{\alpha} \end{matrix}, Q_{xx}^{-1} = N = \begin{matrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{matrix} \text{ ile} \quad (24)$$

R karesel formu;

$$R = (HX - W)' (HQ_{xx}H')^{-1} (HX - W)$$

$$R = (IX - W)' (IQ_{xx}I)' (IX - W) =$$

$$R = k_{00}^2 n_{11} + 2k_{00} (\alpha - 1) n_{12} + (\alpha - 1)^2 n_{22} \quad (25)$$

olur. Bu durumda Test istatistiği $r = 2$ ve ölçü sayısı n ile

$$T = \frac{R}{2M_{00}^2} \sim F_{1 - \alpha; 2, (n - 2)} \quad (26)$$

olur.

$T > F$ çıkması halinde, k_{00} ve α bilinmeyenlerinin herbirisi ayrı ayrı test edilmelidir. Bu durumda k_{00} bilinmeyeni için,

$$R_{k_{00}} = \frac{k_{00}^2}{q_{k_{00}}} \text{ ve test istatistiği}$$

$$T_{k_{00}} = \frac{k_{00}^2}{M_{00}^2 q_{k_{00}}} = \frac{k_{00}^2}{M_{k_{00}}^2} \sim F(1, n - 2) \quad (27)$$

ve ölçek katsayısı α için, benzer olarak

$$T_{\alpha} = \frac{(\alpha-1)^2}{M_o^2 q_{\alpha}} = \frac{(\alpha-1)^2}{M_{\alpha}^2} \sim F(1, n-2) \quad (28)$$

olacaktır. (5b) modeli için,

$$\frac{X'}{1, u} = |X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i-j}, k_{oo}|$$

ile sıfır hipotezi için şart denklemleri,

$$k_{oo} = 0$$

olarak kurulur. Bu durumda

$$H = \begin{matrix} X_i & X_{i-1} & \dots & X_{i-j} & k_{oo} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{matrix}$$

olur ve $Q_{xx} = \begin{matrix} q_{x_i} & q_{x_i, X_{i+1}} & q_{x_i, k_{oo}} \\ \dots & \dots & \dots \\ q_{k_{oo}, x_i} & \dots & q_{k_{oo}} \end{matrix}$

ile

$$R = \frac{k_{oo}^2}{q_{k_{oo}}}$$

ve test istatistiği

$$T = \frac{k_{oo}^2}{M_o^2 q_{k_{oo}}} = \frac{k_{oo}^2}{M_{k_{oo}}^2} \sim F(1, n-u)$$

o

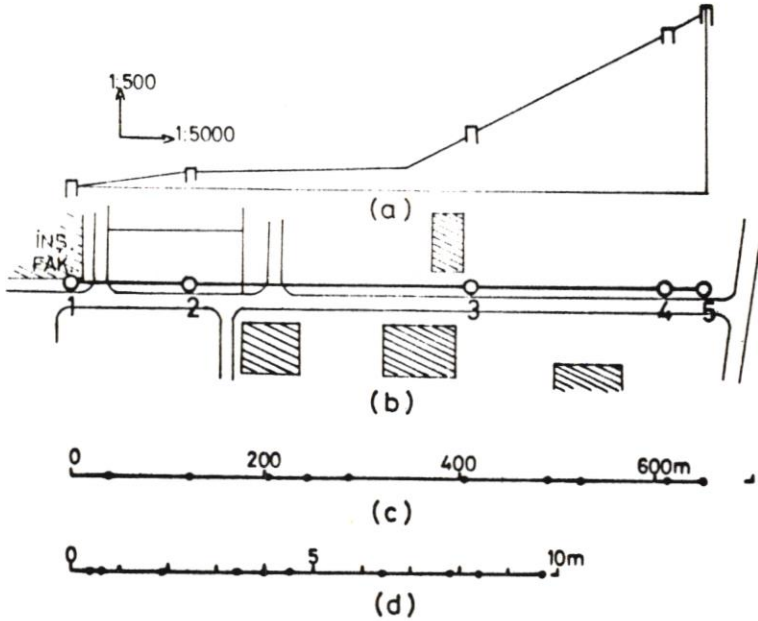
olur.

4. İ.T.Ü KONTROL BAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Baz, sıfır noktası eki, faz farkı ölçme fonksiyonu, ölçek ve uzaklık ölçerlerin ölçme presizyonlarını hesaplamak amacı ile tasarlanmıştır. Ara uzunlukların hesabı için, $U = 10$ m., $A = 40$ m., $C_o = 650$ m., $N = 5$ alınarak Çizelge 2'den $B_o = 80$ m., $D = 0,63$

m. bulunmuştur. $B = 80$ m. alınarak Çizelge 3'ten ara uzunluklar, $12 = 121,89$ m., $23 = 284,41$ m., $34 = 203,15$ m., $45 = 40,63$ m. ve toplam uzunluk 650 m. olarak hesaplanmıştır. Noktalar arasındaki yükseklik farkı az olduğundan, bazın aplikasyonu hesaplanan ara uzunluklar yatay uzunluk alınarak yapılmıştır.

Bazın noktaları Ek:1'deki projeye uygun pilyeler biçiminde tesis edilmiştir (Şekil 2). Noktaların yükseklikleri geometrik nivelmanla belirlenmiştir.

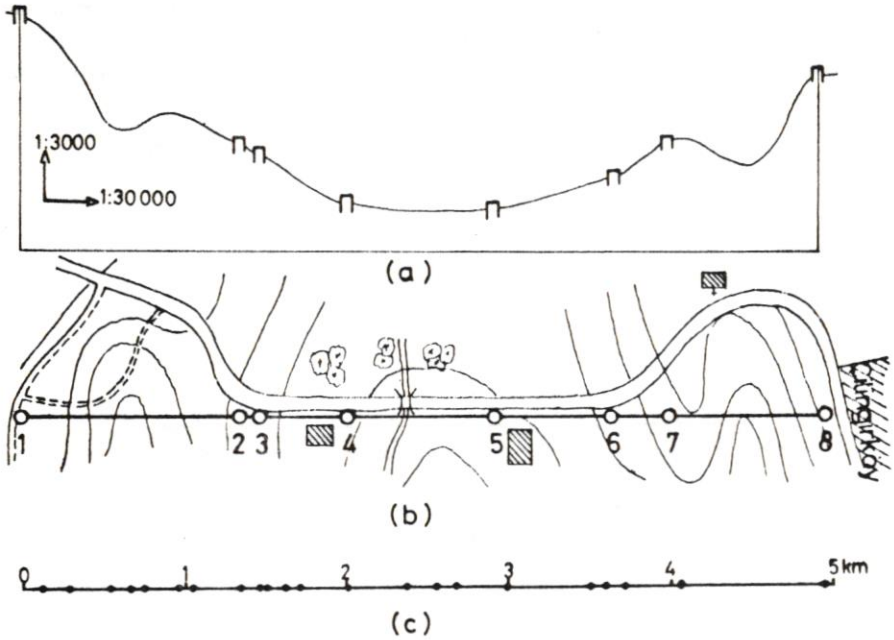


Şekil 2- İTÜ kontrol bazının; a. Profili, b. Planı, c. Uzunluk dağılımı, d. Birim uzunluğun kesirlerinin dağılımı.

5- ÇİLINGİRKÖY KONTROL BAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Baz, sıfır noktası eki, ölçek ve uzaklık ölçerlerin ölçme presizyonlarını belirlemek amacı ile tasarlanmıştır. Bazın ara uzunlukları önce mekometre 3000'in ölçme menziline uygun olarak $U = 30$, $A = 150$, $C_0 = 2700$ ve $N = 6$ alınarak Çizelge:1'e göre hesaplanmıştır. Ancak bazın araziye aplikasyonu esnasında; görüş koşulları, noktaların güvenilir yerlere (örneğin, parsel sınırları ve sağlam zemin gibi) tesis edilmeleri vb. hususlar dikkate alınarak hesapla bulunan bazı ara uzunluklar uzunluk dağılımını etkilemeyecek biçimde değiştirilmiştir. Kontrol ölçmelerinde, uzaklık ölçerin birim uzunluğun tam katı değerler vermesi için bazın noktaları eğik uzunluklara göre applike edilmelidir. Bu nedenle bazın 2 ila 6 noktaları arasındaki noktalar birim uzunluğun tam katına en yakın çözümler verecek biçimde eğik uzunluklara göre applike edilmiştir. 1 ve 8 No'lu noktaların yerleri ise 2-6 doğrultusu uzatılarak bulunmuştur. Böylece 8 noktadan oluşan kontrol bazının toplam uzunluğu yaklaşık 5 km'dir.

3) Bazın noktaları Ek:1'deki projeye uygun pilyeler biçiminde tesis edilmiştir (Şekil



Şekil 3- Çilingirköy kontrol bazının; a. Profili, b. Planı, c. Uzunluk dağılımı.

Noktaların yükseklikleri aynı anda karşılıklı gözlemlerle trigonometrik nivelmanla belirlenmiştir.

6- İ.T.Ü. KONTROL BAZINDA YAPILAN KONTROL VE KALİBRASYON ÇALIŞMALARI

Ölçme çalışmalarında öncelikle, yüksek presizyonlu bir uzaklık ölçerle ölçeklendirilen kontrol bazında konvansiyonel uzaklık ölçerlerin kontrol ve kalibrasyonları amaçlanmıştır. Kontrol bazının ölçeklendirilmesi için Mekometre ME 3000 yüksek presizyonlu elektro-optik uzaklık ölçeri kullanılmıştır. Bu aletle, 1984 ve 1985 yıllarında çevrede ve Taşkesti jeodezik ağlarında, arazide modülasyon frekanslarının da doğrudan ölçülmesiyle ölçmeler yapılmıştır. 1984 yılında Taşkesti ağındaki ölçmelerde Bonn Üniversitesinin Mekometre ME 3000'i ve Geomensor'u da kullanılmıştır. Gerek ölçülerin değerlendirilmesi ve gerekse söz konusu yüksek presizyonlu uzaklık ölçerlerle yapılan karşılaştırmalar, kullanılan aletin $\pm 1 \text{ mm/km}$ 'den daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

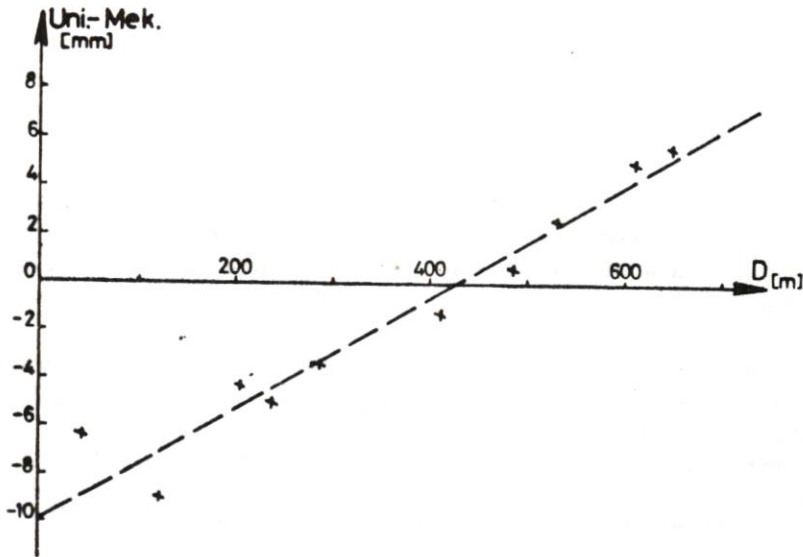
Kontrol bazı aynı günlerde Mekometre ile iki kez ve uniranger elektro-optik uzaklık ölçeriyle üç kez ölçülmüştür. Bir kenarın ölçü değeri mekometrede 6 okumanın ortalaması ile ve unirangerde 15 okumanın ortalaması alınarak bulunmuştur. Ölçmeler esnasında alet ve yansıtıcı noktalarında aneroid barometre ile basınç ve psiknometre ile kuru

ve ıslak sıcaklık okumaları yapılmıştır. Atmosferik düzeltmeleri yapılan ve 1 No'lu noktanın yüksekliğine indirgenen ölçü değerleri Çizelge:4'te görülmektedir.

Her ölçme serisi ve seriler ortalaması; ara uzaklıklar ve ara uzaklıklar ile sıfır noktası eki bilinmeyen alınarak (2) eşitliğindeki modele göre dengelenmiştir. Dengelemede ağırlıklar eşit ve 1 alınmıştır. Ayrıca söz konusu aletlerin faz farkı ölçme fonksiyonları laboratuvarında belirlendiğinden dengelemede dikkate alınmamıştır. Dengeleme sonuçları Bölüm :3.2'ye göre irdelenmiştir. Çizelge:4'ten, mekometrenin signifikant bir sıfır noktası eki olmadığı ve bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatasının $\pm 1,4$ mm. olduğu görülmektedir. Bu hata bu aletle beklenen hatadan büyüktür ve muhtemelen alet ve yansıtıcının tesviyesinden meydana gelmiştir.

Uniranger ölçmelerinin benzer biçimde değerlendirilmesinden; aletin sıfır noktası eki $-10,3 \pm 1,1$ mm. ve bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası $\pm 1,5$ mm. olarak bulunmuştur.

Ortalama mekometre ölçülerinin ara uzunluklar bilinmeyen alınarak dengelenmesiyle bulunan ara uzunluklar bazı ölçüleri alınarak, ortalama uniranger ölçüleri ile hesaplanan $D_{uniranger} - S_{mekometre}$ farkları Şekil:4'te görülmektedir. Mekometreye göre uniranger'in sıfır noktası eki değeri ve ölçüğü; (5) eşitliğindeki modele göre söz konusu farkların lineer regresyonundan bulunur. Unirangerin sıfır noktası eki değerinin $-9,95 \pm 0,84$ mm. ve ölçüğünün $23,1 \pm 2,1$ mm/km olduğu çizelgeden görülmektedir.



Şekil 4- Mekometreye göre uniranger ölçü farkları

7- ÇİLİNGİRKÖY KONTROL BAZINDA YAPILAN KONTROL VE KALİBRASYON ÇALIŞMALARI

Çilingirköy kontrol bazındaki ilk ölçmeler Taşkenti jeodezik ağının 1986 periyodu ölçmelerinde kullanılan Bonn Üniversitesinin geomensor; range master III ve Hewlett-Packard 3808A elektro-optik uzaklık ölçerlerinin kontrol ve kalibrasyon amacı ile yapıldı.

muştur. Uç aletle aynı yansıtıcı seti kullanılmıştır. Her kenar her aletle en az 15 okuma yapılarak ölçülmüştür. Ölçmeler esnasında alet ve yansıtıcı noktasındaki atmosferik değerler yerden 10 metre yukarıda elektronik olarak ölçülmüş ve 1 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Düzeltilmiş ve 5 No'lu noktanın yüksekliğine indirgenmiş geomensor ve rangemaster III ölçüleri Çizelge:5'te görülmektedir.

İ.T.Ü. kontrol bazında kontrol ve kalibrasyonu yapılan uniranger ile Çilingirköy bazında da ölçmeler yapılmıştır. Düzeltilmiş ve indirgenmiş uniranger ölçüleri Çizelge:5'te görülmektedir.

Ölçüler, kontrol bazının ara uzunlukları ve sıfır noktası eki bilinmeyen alınarak dengelemede ağırlıklar aletlerin aletsel hataları dikkate alınarak $S = 1$ km. için $P_s = 1$ olacak biçimde hesaplanmıştır.

Geomensora göre rangemaster III ve uniranger uzaklık ölçerlerinin sıfır noktası eki değerleri ve ölçekleri, geomensor ölçülerinin dengelenmesinden bulunan ara uzunluklar değişmez alınarak hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçları Bölüm:3.2'ye göre irdelenmiştir. $S = 1$ km'lik bir kenarın karesel ortalama hatası olarak, geomensor için $\pm 1,0$ mm., rangemaster III için $\pm 10,0$ mm. ve uniranger için $\pm 7,8$ mm. bulunmuştur. Her iki aletin geomensora göre signifikant bir ölçek hatası yoktur. Rangemaster III'ün sıfır noktası eki değeri $112,7 \pm 3,7$ mm. ve uniranger'in sıfır noktası eki değeri $- 8,9 \pm 4,3$ mm. olarak bulunmuştur.

8- SONUÇLAR

Uniranger ile kullanılan yansıtıcılar yansıtıcıların sıfır noktası eki değerleri 0,000 m. olarak verilmesine karşılık, gerek kısa İTÜ bazında ve gerekse Çilingirköy bazındaki kontrolünden bu aletin sıfır noktası ekinin $-8,9$ mm. ile $-10,3$ mm. arasında değiştiği görülmektedir.

Taşkesti jeodezik ağının 1985 periyodu ölçmelerinde rangemaster III'in aynı yansıtıcı ile sıfır noktası eki değeri 124 mm. alınmışken³ 1986 periyodu için 112,7 mm. bulunmuştur. Aradaki fark signifikanttır.

Uniranger için İTÜ bazında 23,1 mm/km'lik ölçek hatası elde edilmesine karşılık. Çilingirköy bazında herhangi bir ölçek hatası elde edilememiştir. Bu durum, unirangerin sıfır noktası ekinin kısa mesafelerde büyük ölçüde uzunluğa bağlı olarak değişmesiyle açıklanabilir.

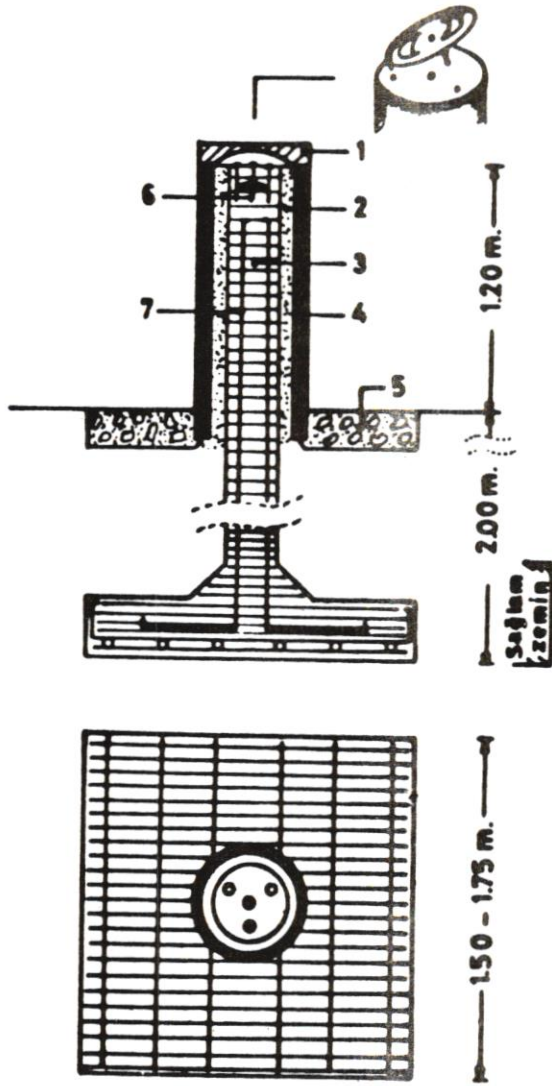
Rangemaster III, uniranger gibi konvansiyonel uzaklık ölçerlerin ölçme presizyonları kısa boy ölçmelerinde artmaktadır. Uzun boylarda ise atmosferik etkiler artmakta ve aletlerin ölçme presizyonları azalmaktadır. Çilingirköy bazında 1 km'lik bir uzunluk için Rangemaster III'ün ölçme presizyonu ± 10 mm, unirangerin ölçme presizyonu $\pm 7,8$ mm. olmasına karşılık, yüksek presizyonlu geomensor'un ölçme presizyonu $\pm 1,0$ mm dir. Bu sonuç, kenar ölçmelerinde istenen doğruluğa uygun aletin seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

Alet ve Yansıtıcı		Mekometre ME3000 Kern 3'lü $m_0 = \pm 0,2 \pm 0,2$ ppm					Uniranger + K+E 3'lü Yansıtıcı $m_0 = \pm 5 \pm 5$ ppm									
Ölçme No	Tarih	1.Seri 22.4.1986		2.Seri 29.4.1986		Ortalama		1.Seri 22.4.1986		2.Seri 24.4.1986		3.Seri 30.4.1986		Ortalama		
		m	\pm mm	m	\pm mm	m	\pm mm	m	\pm mm	m	\pm mm	m	\pm mm	m	\pm mm	
Ölçüler ve iç presizyonları	D ₁₂	121,8748	0,13	8747	0,07	121,87475		8667	1,1	8658	2,9	8671	1,4	121,8665		
	D ₁₃	406,3218	0,10	3226	0,06	406,32220		3267	2,4	3226	2,2	3155	1,9	406,3216		
	D ₁₄	609,4566	0,19	4555	0,00	609,45605		4620	2,5	4595	2,6	4568	1,6	609,4594		
	D ₁₅	650,0175	0,15	0145	0,22	650,01607		0243	1,9	0234	4,0	0,174	1,4	650,0217		
	D ₂₃	284,4460	0,09	4458	0,09	284,44590		4446	2,6	4465	2,6	44,06	1,9	284,4439		
	D ₂₄	487,5795	0,06	5794	0,06	487,57945		5837	1,7	5781	2,9	5768	1,2	487,5795		
	D ₂₅	528,1414	0,18	1407	0,09	528,14105		1480	3,0	1409	1,5	1406	1,4	528,1432		
	D ₃₄	203,1306	0,06	1287	0,15	203,12965		1272	1,3	1309	1,1	1203	1,0	203,1261		
	D ₃₅	243,6934	0,15	6912	0,08	243,69230		6855	1,4	6981	2,0	6814	0,8	243,6883		
	D ₄₅	40,5628	0,04	5624	0,06	40,56260		5551	0,7	5571	1,1	5540	0,6	40,5554		
	m _i	$\pm 0,097$ mm		$\pm 0,099$ mm				$\pm 2,0$ mm		$\pm 2,4$ mm		$\pm 1,4$ mm				
Dengeleme Sonuçları	Ara uzaklıklar bilinmeyen	12	121,8757	1,7	8752	1,0	8755	0,9	8740	4,1	8743	3,4	8732	5,1	8738	3,9
		23	284,4447	"	4479	"	4474	"	4537	"	4480	"	4491	"	4502	"
		34	203,1321	"	1305	"	1315	"	1318	"	1343	"	1291	"	1317	"
		45	40,5622	"	5615	"	5618	"	5590	"	5616	"	5587	"	5598	"
		m ₀	$\pm 2,7$ mm		$\pm 1,6$ mm		$\pm 1,4$ mm		$\pm 6,5$ mm		$\pm 5,4$ mm		$\pm 8,1$ mm		$\pm 6,1$ mm	
	sıfır noktası eki ve ara uz.bilinmeyen	12	121,8748	1,8	8744	1,9	8747	2,0	8783	1,9	8772	2,6	8784	2,4	8779	0,8
	23	284,4463	"	4471	"	4466	"	4577	"	4508	"	4543	"	4543	"	
	34	203,1311	"	1297	"	1293	"	1361	"	1371	"	1343	"	1358	"	
	45	40,5613	"	5607	"	5610	"	5633	"	5645	"	5639	"	5639	"	
	K ₀₀	2,28 \pm 1,8mm		1,98 \pm 2,0mm		2,02 \pm 2,0mm		-10,6 \pm 2,0mm		-7,1 \pm 2,7mm		-13,6 \pm 2,4mm		-10,3 \pm 1,1mm		
	m ₀	$\pm 2,5$ mm		$\pm 2,8$ mm		$\pm 2,9$ mm		$\pm 2,8$ mm		$\pm 3,8$ mm		$\pm 3,4$ mm		$\pm 1,5$ mm		
Mekometreye göre Uniranger'in sıfır noktası eki ve ölçüğü.								K ₀₀ = -9,95 \pm 0,84mm $\alpha = 23,1 \pm 2,1$ mm/km m ₀ = $\pm 1,3$ mm								

Çizelge : 4

Alet ve yansıtıcı		Geomensor $m_s = \pm 1 \pm 1$ ppm	Rangemaster III $m_s = \pm 5 \pm 2$ ppm	Uniranger K+E 7'11 $m_s = \pm 5 \pm 5$ ppm
Tarih		22-24.8.1986 m	22-24.8.1986 m	30.9.1986 m
ölçüler	D ₁₂	1348,9103	1348,8062	-
	D ₁₃	1468,9103	1468,8214	-
	D ₁₄	2009,1559	2009,0603	-
	D ₁₅	2970,0844	2970,0294	-
	D ₁₆	3719,6141	3719,6141	-
	D ₁₇	4018,9295	4018,9295	-
	D ₂₃	119,9944	119,9031	120,006
	D ₂₄	660,2386	660,1537	660,240
	D ₂₅	1621,1732	1621,0977	1621,168
	D ₂₆	2370,7602	2370,6608	2370,763
	D ₂₇	2670,0964	2670,0013	2670,094
	D ₃₄	540,2313	540,1362	540,238
	D ₃₅	1501,1675	1501,0735	1501,163
	D ₃₆	2250,7535	2250,6657	2250,774
	D ₃₇	2550,0914	2549,9935	2550,098
	D ₄₅	960,9275	960,8401	960,929
	D ₄₆	1710,5178	1710,4192	1710,521
	D ₄₇	2009,8552	2009,7614	2009,863
	D ₅₆	749,5763	749,4570	749,587
	D ₅₇	1048,9126	1048,8076	1048,915
D ₆₇	299,3263	299,2202	299,365	
Dengeleme: Ara uzaklıklar ve sıfır noktası eki bilinmeyen	12	1348,9174	1348,923	
	23	120,0045	120,014	120,013
	34	540,2414	540,244	540,241
	45	960,9371	960,952	960,934
	56	749,5871	749,578	749,587
	67	299,3363	299,336	299,333
	K ₀₀	9,7 \pm 1,0mm	112,7 \pm 3,7mm	-8,9 \pm 4,3mm
m ₀	\pm 1,018 mm	\pm 9,98 mm	\pm 7,8 mm	
Geomensor'a göre ölçek ve sıfır noktası eki değerleri		K ₀₀	110,5 \pm 4,9mm	-7,6 \pm 3,6 mm
		α	-5,3 \pm 3,0mm/km	-0,6 \pm 2,2 mm/km
		m ₀	\pm 11,2 mm	\pm 7,1 mm

Çizelge : 5



KAYNAKLAR

- (1) Rasim Deniz, Kısa Boyların Elektro Optik Uzaklık Ölçerlerle Ölçülmesinde Prezisyon Araştırması, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fak., 1980
- (2) F.Halmos, A particular case of the calibration of distance-meters and of the increase of the accuracy of distances, IAG Symposium, Helsinki, 1978.
- (3) Ahmet Aksoy, Tevfik Ayan, Rasim Deniz, İ.Hakkı Gürdoğan, Melih Gezci; Depremlerin Önceden Bilinmesi ve Hasarların Azaltılması Ulusal Projesi ile Türk-alman Ortak Projesi Çerçevesinde "1985 Jeodezi Çalışmaları Teknik Raporu, 1986.
- (4) Koch, K.R. (1980), Parameterschaetzung und Hypothesentests in Linearen Modellen, Dümmler Verlag, Bonn.