



İnşaat Fakültesi
Harita Mühendisliği Bölümü
Ölçme Tekniği Anabilim Dalı



MÜHENDİSLİK ÖLÇMELERİ UYGULAMASI

(HRT4362)

8. Yarıyıl

	D	U	L	K
Kredi	2	0	2	3
ECTS	2	0	2	3

UYGULAMA-1

ELEKTRONİK ALETLERİN KALİBRASYONU

Prof.Dr.Engin GÜLAL

Doç.Dr.Burak AKPINAR

Dr. Nedim Onur AYKUT

Arş.Gör. Güldane OKU

ÖDEV-1 (Arazi)

ELEKTRONİK UZUNLUK ÖLÇERİN SIFIR NOKTASI HATASININ BELİRLENMESİ

Gerekli alet ve ekipmanlar

- 1 adet Totalstation
- 1 adet sıcaklık, basınç, nem ölçer
- 5 adet tribrach
- 2 adet tribrach aparatı
- 2 adet uygun reflektör
- Kalibrasyon bazı (300 metre)

ÖDEV-2 (Laboratuvar)

ELEKTRONİK UZUNLUK ÖLÇERİN YÖNELTME HATASININ BELİRLENMESİ

Gerekli alet ve ekipmanlar

- 1 adet aynı seri numaralı Totalstation
- 1 adet sıcaklık, basınç, nem ölçer (mevcut)
- 1 adet reflektör (mevcut)

ÖDEV-3 (Laboratuvar)

UZUNLUK ÖLÇERİN FAZ ÖLÇME SİSTEMİNİN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN BELİRLENMESİ

Gerekli alet ve ekipmanlar

- 1 adet aynı seri numaralı Totalstation
- 1 adet sıcaklık, basınç, nem ölçer (mevcut)
- 1 adet reflektör (mevcut)

ÖDEV-4 (Laboratuvar)

NİVOLARDA GÖZLEM EKSENİNİN KONTROLÜ

Gerekli alet ve ekipmanlar

- 1 adet Nivo (mevcut)
- 2 adet mira (mevcut)
- 1 adet alet sehpası (mevcut)

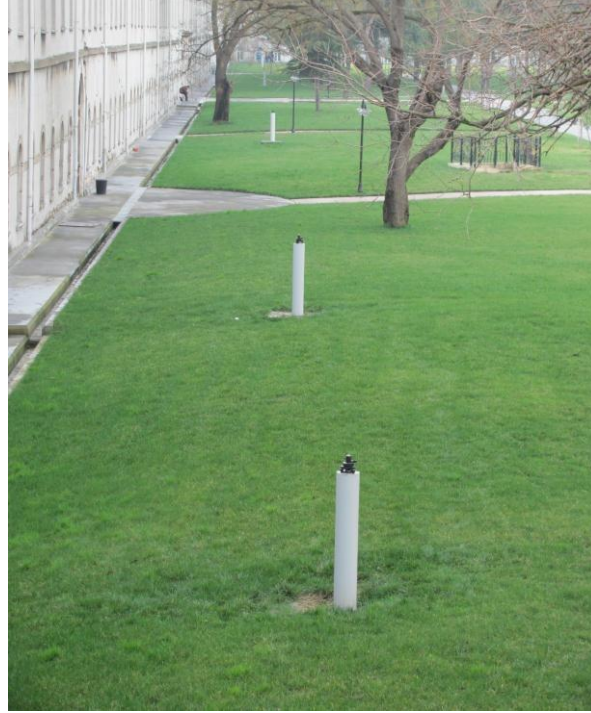
ÖDEV-1

ELEKTRONİK UZUNLUK ÖLÇERİN SIFIR NOKTASI HATASININ BELİRLENMESİ

Elektronik uzunluk ölçerlerin sıfır noktası hatasının belirlenmesi için YTÜ Davutpaşa Kampüsü, tarihi Davutpaşa Kışlası iç bahçesinde kurulmuş olan 6 noktadan oluşan kalibrasyon bazında (Şekil 1 ve Şekil 2) test ölçüleri yapılacaktır.

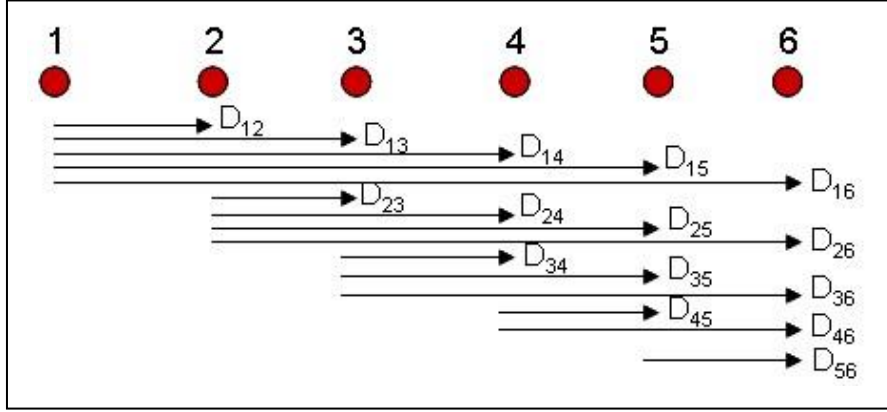


Şekil 1. Kalibrasyon bazı



Şekil 2. Pilve noktaları

Kalibrasyon bazında ölçüler tüm kombinasyonları ile uzunluk ölçümü yöntemi ile yapılacaktır. Toplam olarak 15 **yatay mesafe** ölçümü gerçekleştirilecektir. Her bir mesafe 5 kez tekrarlanarak hassas mod'da ölçülecektir. Hesaplamalarda 5 ölçünün ortalaması kullanılacaktır.



Şekil 3. Tüm kombinasyonları ile uzunluk ölçümü

Ölçülerde sıcaklık ve basınç bilgileri de ölçülerek alete girilecektir. Alet içerisindeki ayarlar menüsünde bulunan 1. hız düzeltmesinin yapılacağını gösteren seçenek açık olacaktır.

Ölçülerin Değerlendirilmesi

1) Bilinen uzunluklar ile sıfır noktası düzeltmesinin belirlenmesi

Kalibrasyon bazı 3 Mart 2010 tarihinde mesafe ölçme doğruluğu 1mm+1.5ppm olan Leica TPS1201+ elektronik takeometresi ile ölçeklendirilmiştir. Kalibrasyon bazındaki ölçülerin en küçük kareler yöntemine göre değerlendirilmesi sonucu baz noktaları arasındaki kesin mesafeler elde edilmiştir. Tablo 1. Kesin baz mesafeleri

	Mesafe (m)		Mesafe (m)		Mesafe (m)
D ₁₂	39.9687	D ₂₃	79.9882	D ₃₅	160.1115
D ₁₃	119.9569	D ₂₄	180.0313	D ₃₆	180.0373
D ₁₄	220.0000	D ₂₅	240.0997	D ₄₅	60.0684
D ₁₅	280.0684	D ₂₆	260.0255	D ₄₆	79.9942
D ₁₆	299.9942	D ₃₄	100.0431	D ₅₆	19.9258

Bilinen uzunluklar ile sıfır noktası hatasının belirlenmesinde, kesin mesafeler D ile ölçülen mesafeler D_ö'ler arasındaki farklar

$$\Delta D = D - D_{\text{ö}} \quad (1.1)$$

kullanılır. ΔD farkları, D mesafesinin bir fonksiyonu olarak dengelenmiş bir eğri ile grafik olarak gösterilebilir ve doğrusal bir fonksiyonel modelle

$$K_S = a_0 + a_1 D \quad (1.2)$$

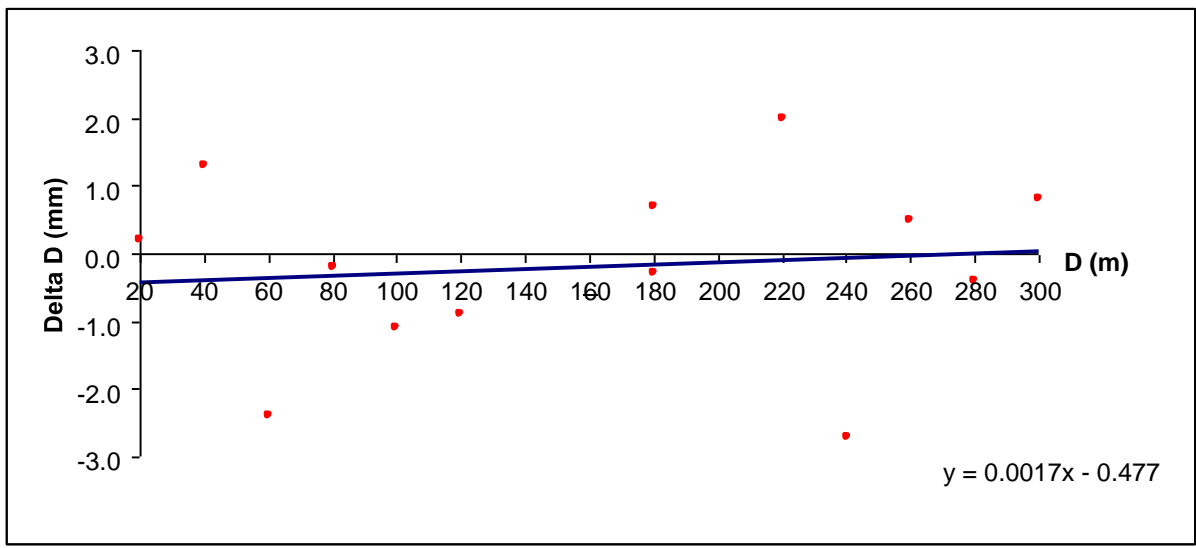
şeklinde ifade edilir. Fonksiyonun bilinmeyenleri de aşağıdaki eşitlikler ile belirlenir.

$$a_0 = \frac{([DD][\Delta D] - [D][D \Delta D])}{n[DD] - [D]^2}$$

$$a_1 = \frac{(-[D][\Delta D] + n[D \Delta D])}{n[DD] - [D]^2}$$

Örnek Uygulama:

n	Mesafe	D (m)	D _ö (m)	ΔD (mm)	DD (m ²)	D.ΔD
1	D ₅₆	19.9258	19.926	0.2	397.0375	3.9852
2	D ₁₂	39.9687	39.970	1.3	1597.4970	51.9593
3	D ₄₅	60.0684	60.066	-2.4	3608.2127	-144.1642
4	D ₂₃	79.9882	79.988	-0.2	6398.1121	-15.9976
5	D ₄₆	79.9942	79.994	-0.2	6399.0720	-15.9988
6	D ₃₄	100.0431	100.042	-1.1	10008.6219	-110.0474
7	D ₁₃	119.9569	119.956	-0.9	14389.6579	-107.9612
8	D ₃₅	160.1115	160.111	-0.5	25635.6924	-80.0557
9	D ₃₆	180.0313	180.032	0.7	32411.2690	126.0219
10	D ₂₄	180.0373	180.037	-0.3	32413.4294	-54.0112
11	D ₁₄	220.0000	220.002	2.0	48400.0000	440.0000
12	D ₂₅	240.0997	240.097	-2.7	57647.8659	-648.2692
13	D ₂₆	260.0255	260.026	0.5	67613.2607	130.0128
14	D ₁₅	280.0684	280.068	-0.4	78438.3087	-112.0274
15	D ₁₆	299.9942	299.995	0.8	89996.5200	239.9954
		[2320.3132]		[-3.2]	[475354.5572]	[-296.5583]



$$a_0 = \frac{([DD][\Delta D] - [D][D \Delta D])}{n[DD] - [D]^2} = -0.5 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{(-[D][\Delta D] + n[D \Delta D])}{n[DD] - [D]^2} = 0.0017 \text{ mm/m}$$

$$K_S = a_0 + a_1 D = -0.5 \text{ mm} + 1.7 \text{ mm/km} = -0.5 \text{ mm} + 1.7 \text{ ppm}$$

2) Bilinmeyen uzunluklar ile sıfır noktası düzeltmesinin belirlenmesi

Kalibrasyon bazında tüm kombinasyonları ile yapılan uzunluk ölçümü dolaylı ölçüler dengelemesi yöntemi ile değerlendirilir. Bazda ölçülen uzunluklar, 5 parça uzunluk ve 1 sıfır noktası bilinmeyeninin bir fonksiyonu olarak yazılır.

Gözlemler vektörü ℓ , katsayılar (dizayn) matrisi A ve bilinmeyenler vektörü x aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\ell = \begin{bmatrix} D_{12} \\ D_{13} \\ D_{14} \\ D_{15} \\ D_{16} \\ D_{23} \\ D_{24} \\ D_{25} \\ D_{26} \\ D_{34} \\ D_{35} \\ D_{36} \\ D_{45} \\ D_{46} \\ D_{56} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ K \end{bmatrix}$$

Normal denklemler matrisi : $N=A^T A$ (1.5)

Sabit terimler vektörü : $n=AT \ell$ (1.6)

Bilinmeyenler vektörü : $x=N^{-1}n$ (1.7)

denkleminin çözümü ile hesaplanır.

Pilyeler arasındaki ara mesafeler hesaplanmadan sadece sıfır noktası düzeltmesi aşağıdaki SCHLICHTING eşitliği ile hesaplanır.

$$K_3 = \frac{1}{20} (-4D_{12} - 2D_{13} + 0D_{14} + 2D_{15} + 4D_{16} - 4D_{23} - 2D_{24} + 0D_{25} + 2D_{26} - 4D_{34} - 2D_{35} + 0D_{36} - 4D_{45} - 2D_{46} - 4D_{56}) \quad (1.8)$$

Örnek Uygulama:

$$\ell = \begin{bmatrix} 19.926 \\ 39.970 \\ 60.066 \\ 79.988 \\ 79.994 \\ 100.042 \\ 119.956 \\ 160.111 \\ 180.032 \\ 180.037 \\ 220.002 \\ 240.097 \\ 260.026 \\ 280.068 \\ 299.995 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ K \end{bmatrix}$$

Normal denklemler matrisi : $N=A^T A$

$$N = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & -5 \\ 4 & 8 & 6 & 4 & 2 & -8 \\ 3 & 6 & 9 & 6 & 3 & -9 \\ 2 & 4 & 6 & 8 & 4 & -8 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & -5 \\ -5 & -8 & -9 & -8 & -5 & 15 \end{bmatrix}$$

Sabit terimler vektörü : $n=A^T \ell$

$$n = \begin{bmatrix} 959.991 \\ 1680.169 \\ 1920.410 \\ 1560.389 \\ 839.973 \\ -2320.310 \end{bmatrix}_m$$

Bilinmeyenler vektörü : $x=N^{-1}n$

$$x = \begin{bmatrix} 39.9689 \\ 79.9896 \\ 100.0437 \\ 60.0659 \\ 19.9262 \\ 0.0002 \end{bmatrix}_m$$

Sıfır eki hatası=0.2 mm

Düzeltilmeler vektörü : $v = A \hat{x} - \ell$

$$v = \begin{bmatrix} -0.0013 \\ 0.0023 \\ 0.0000 \\ -0.0001 \\ -0.0009 \\ 0.0014 \\ -0.0039 \\ 0.0020 \\ -0.0008 \\ 0.0015 \\ -0.0016 \\ 0.0037 \\ -0.0003 \\ -0.0021 \\ 0.0000 \end{bmatrix}_m$$

$$\text{Standart Sapma: } s_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} = 2.4 \text{ mm}$$

$$\text{Sıfır eki hatasının standart sapması} = s_K = s_0 \sqrt{Q_{xx,k}} = 1.3 \text{ mm}$$

SCHLICHTING eşitliğine göre sıfır noktası hatası:

$$K_S = \frac{1}{20} (-4D_{12} - 2D_{13} + 0D_{14} + 2D_{15} + 4D_{16} \\ - 4D_{23} - 2D_{24} + 0D_{25} + 2D_{26} \\ - 4D_{34} - 2D_{35} + 0D_{36} \\ - 4D_{45} - 2D_{46} \\ - 4D_{56}) = 1.1 \text{ mm}$$

Düzeltilmeler vektörü : $v = A \hat{x} - \ell$

$$v = \begin{bmatrix} -0.0013 \\ 0.0023 \\ 0.0000 \\ -0.0001 \\ -0.0009 \\ 0.0014 \\ -0.0039 \\ 0.0020 \\ -0.0008 \\ 0.0015 \\ -0.0016 \\ 0.0037 \\ -0.0003 \\ -0.0021 \\ 0.0000 \end{bmatrix}_m$$

$$\text{Standart Sapma: } s_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} = 2.4 \text{ mm}$$

$$\text{Sıfır eki hatasının standart sapması} = s_k = s_0 \sqrt{Q_{xx,k}} = 1.3 \text{ mm}$$

SCHLICHTING eşitliğine göre sıfır noktası hatası:

$$K_S = \frac{1}{20} (-4D_{12} - 2D_{13} + 0D_{14} + 2D_{15} + 4D_{16} \\ - 4D_{23} - 2D_{24} + 0D_{25} + 2D_{26} \\ - 4D_{34} - 2D_{35} + 0D_{36} \\ - 4D_{45} - 2D_{46} \\ - 4D_{56}) = 1.1 \text{ mm}$$

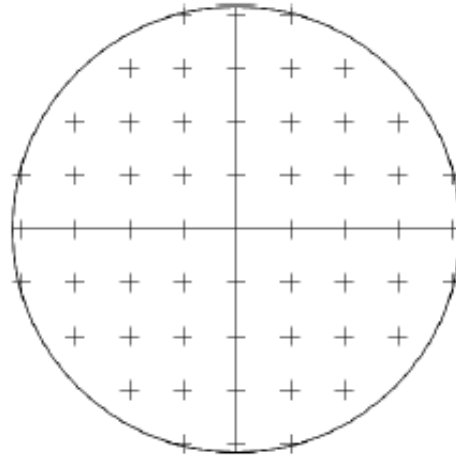
ÖDEV-2

UZUNLUK ÖLÇERİN YÖNELTME HATASININ BELİRLENMESİ (FAZ HOMOJENSİZLİĞİ)

Yansıtıcı ile elektronik uzunluk ölçer arasındaki mesafe sabit tutularak gözlem eksenini yansıtıcı üzerinde sabit bir açı ile yatay ve düşey doğrultuda hareket ettirildiğinde faz'ın homojen olmamasından dolayı optimum hedeflemeye (maksimum sinyal gücü) göre uzunluk değişimlerine neden olmaktadır. Faz homojensizliğinin deneysel olarak belirlenmesinde yansıtıcı aletten yaklaşık olarak 25m mesafede tutulur. Dürbün

yansıtıcıya çok hassas olarak (en güçlü sinyali alacak şekilde) yönlendirilir ve okuma yapılır.

Açı tablasından yatay doğrultu ve düşey açı değerleri okunur. Daha sonra dürbün yansıtıcı üzerinde yatay ve düşey doğrultularda 2 çigon hareket ettirilerek diğer mesafe okumaları Dö yapılır. Böylelikle yansıtıcı yüzeyi grid şeklinde taranmış olur.



Şekil 4. Gridlere ayrılmış yansıtıcı yüzeyi

D_R en iyi hedeflemedeki referans uzunluğu olmak üzere faz homojensizliğinden dolayı oluşan sapmalar

$$K_i = D_R - Dö \quad (1.9)$$

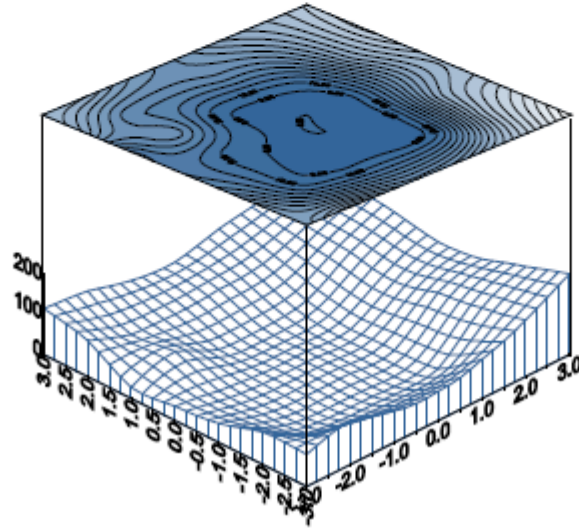
elde edilir. K_i değerlerinin grafik gösterimi fazın homojen olup olmadığı hakkında görsel bir diyagram oluşturur.

Örnek Uygulama:

Grad	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08
100.76	-	-	-	27.128	27.128	27.128	-	-	-
100.74	-	-	27.127	27.126	27.126	27.126	27.127	-	-
100.72	-	27.127	27.125	27.124	27.125	27.124	27.125	27.127	-
100.70	27.128	27.126	27.125	27.123	27.123	27.123	27.125	27.126	27.128
100.68	27.128	27.126	27.124	27.123	27.123	27.123	27.124	27.126	27.128
100.66	27.128	27.126	27.125	27.123	27.123	27.123	27.125	27.126	27.128
100.64	-	27.127	27.125	27.124	27.125	27.124	27.125	27.127	-
100.62	-	-	27.127	27.126	27.126	27.126	27.127	-	-
100.60	-	-	-	27.128	27.128	27.128	-	-	-

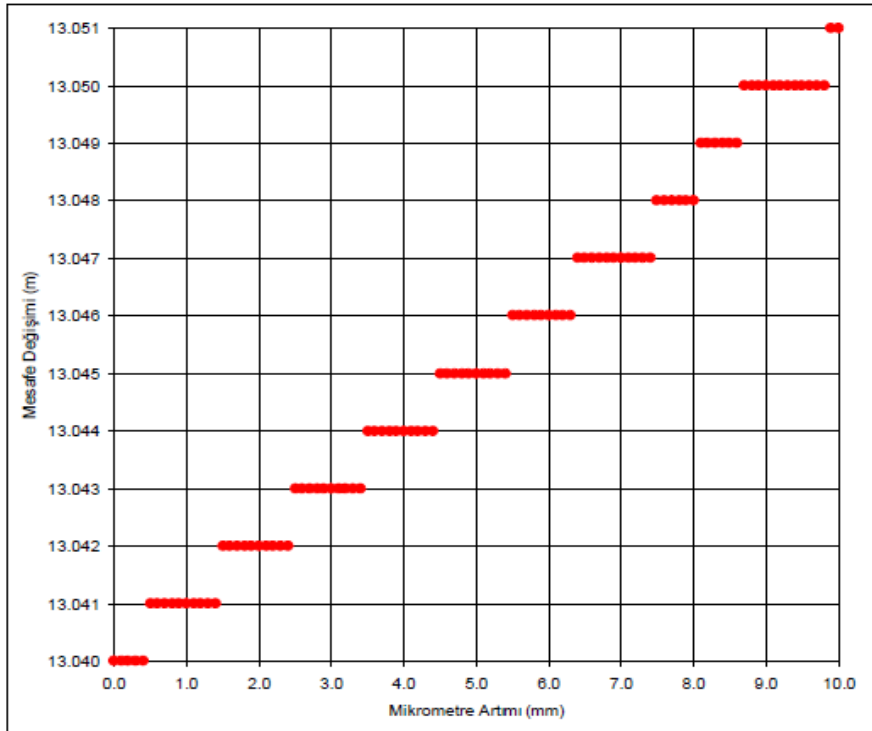
Optimum hedeften farklar:

Grad	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08
100.76				5	5	5			
100.74			4	3	3	3	4		
100.72		4	2	1	2	1	2	4	
100.70	5	3	2	0	0	0	2	3	5
100.68	5	3	1	0	0	0	1	3	5
100.66	5	3	2	0	0	0	2	3	5
100.64		4	2	1	2	1	2	4	
100.62			4	3	3	3	4		
100.60				5	5	5			



Endüstriyel ölçme tekniğinde çözünürlük gücünden aletin yeteneği anlaşılmaktadır. Yani birbirine yakın iki ölçü değerinin farklı değerler olarak algılayabilme kabiliyetidir. Çözünürlük doğruluğu sinyal zayıflaması ve özellikle atmosferden geçerken sinyal biçiminin bozulması nedeniyle sadece faz ölçme sistemine değil atmosferin yapısına ve uzaklığı da bağlıdır.

Elektronik uzaklık ölçerlerin çözünürlüğü, mesafe boyunca mikrometrik olarak hareket ettirilebilen bir yansıtıcıdan oluşan bir düzenek ile belirlenebilir. Yansıtıcı aletten yaklaşık 20-30m mesafede 0.1-0.2mm hareket ettirilerek ölçümler yapılır. Yansıtıcının ötelenmesi ile aletin ölçtüğü değerler arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır. Dengeli bir doğrudan olan sapsmalar faz ölçümü ile gösterge arasındaki doğruluk ilişkisi arasında bir fikir verir. Faz ölçümü en küçük gösterge biriminden daha kaba ise değerler dengeli bir doğru çevresinde rastlantısal olarak dağılır. Faz ölçümü en küçük gösterge biriminden daha hassas ise (1mm) değerler merdiven fonksiyon şeklini alırlar. Bu durumda faz ölçüsünün doğruluğu dengelenmiş doğru yerine merdiven fonksiyon ile tanımlanır.

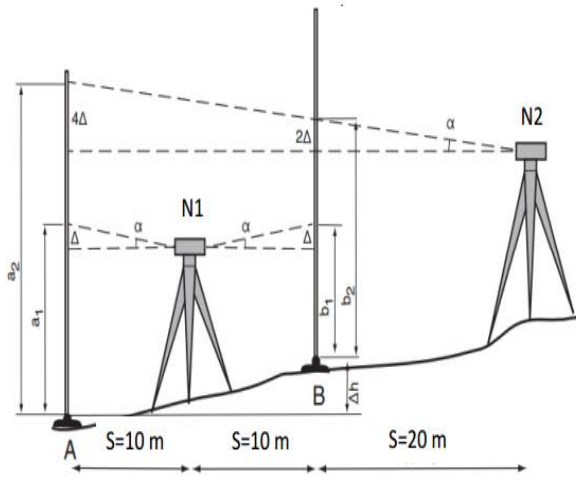


Şekil 5. Merdiven fonksiyonu

ÖDEV-4

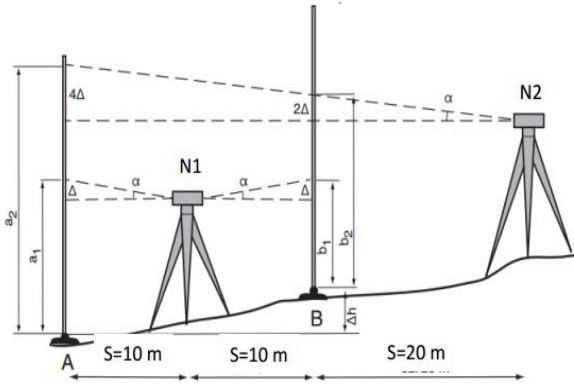
NİVOLARDA GÖZLEM EKSENİNİN KONTROLÜ

Nivolarda gözlem eksenini düzeç eksenine paralel olmalıdır. Nivonun bu kontrolünü yapmak için nivo ilk olarak yüksekliği aranan A ve B noktalarının ortasında miralara eşit S mesafesinde kurulur. Burada geri ve ileri okumaları yapılarak DH_1 yükseklik farkı hesaplanır. Ara mesafelerin eşit olması nedeniyle bu ölçümde kolimasyon hatası elimine olacaktır. Daha sonra nivo miraların dışında 2S mesafesinde kurularak tekrar geri ve ileri okumalar yapılarak DH_2 hesaplanır. DH_1 ve DH_2 arasındaki farkın yarısı bize nivonun kolimasyon hatasını verecektir.



$$h_1 = (a_1 - \Delta) - (b_1 - \Delta) \quad \Delta h_2 = (a_2 - 4\Delta) - (b_2 - 2\Delta)$$
$$\Delta h_1 = a_1 - b_1 \quad \Delta h_2 = a_2 - b_2 - 2\Delta$$

$$\Delta h_1 = \Delta h_2$$
$$\Delta = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{2} \quad \alpha = \text{Arctan} \frac{\Delta}{S}$$



$$a_1 = 1.425m \quad a_2 = 1.250m$$

$$b_1 = 1.837m \quad b_2 = 1.672m$$

$$\Delta = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{2}$$

$$\Delta = \frac{(1.250 - 1.672) - (1.425 - 1.837)}{2} = -0.005m$$

$$\Delta h_2 = (a_2 - 4\Delta) - (b_2 - 2\Delta)$$

$$4\Delta = -0.02m \quad (a_2 - 4\Delta) = 1.270m$$

$$\Delta h_2 = a_2 - b_2 - 2\Delta$$

$$2\Delta = -0.01m \quad (b_2 - 2\Delta) = 1.682m$$

A noktasındaki mirada 1.270m ya da B noktasındaki mirada 1.682m değeri okununcaya kadar gözlem çizgileri kaydırılır. A ya da B noktasındaki miraların birinde okunması gereken değer okununcaya kadar gözlem çizgileri kaydırılır; diğer noktada kontrol yapılır.