

ELEKTROMAGNETİK UZUNLUK ÖLÇERLERİN KALİBRASYONLARI

Doç.Dr.Turgut UZEL
İ.D.M.M.A.

1. GİRİŞ

Elektromagnetik dalgalarla uzunluk ölçen aletlerde, ölçüm süreci içerisinde oluşan nedenlerle zamansal bir gecikme ile birlikte bir dizi yan etmenlerin etkisiyle oluşan sabit denebilecek uzunluk hataları ortaya çıkar. Bunlar, faz ölçümü sırasındaki faz kaydırma, elektrik devrelerindeki gecikmeler, iç ve dış ışın yoluna farklı etki eden bir dizi nedenler olarak özetlenebilir. Bu hatalar, diferans ölçümleriyle yokedilemezler ve dolayısıyla bir sıfır nokta hatası (sıfırlama hatası, ilâve hata, p) na neden olurlar.

Bu hata nedeniyle alet, ölçülen uzunluğu gerçek değerinden bir miktar daha küçük gösterir. Alet sıfır noktasının saptanmasının (Kalibrasyonun) amacı, ölçü başlangıç noktasının kaymasına ilişkin bir düzeltme değerinin saptanması ve gerektiğinde alet sıfır noktasının ortalama hatasının yani incelik ölçütünün elde edilmesine yöneliktir.

Alet sıfır noktasının ortalama hatası, çeşitli aletlerin birbiriyle karşılaştırılması ve dengelemede ölçü ağırlıklarının belirlenmesi için gereklidir.

Aletin sıfır noktasına etkiyen kontrol edilemeyen bu hatalar, yapılan uzunluk ölçülerine, normal olarak, alet yapımcılarınca verilen incelik sınırları içerisinde etki ederler. SCHWENDENER'e göre söz konusu hatanın büyüklük derecesi, bu uzunluk ölçerlerin ince ölçeklerinin (yani modülasyon dalga boyunun yarısı)'nın seçimine bağlıdır. Birçok araştırma, 10 metreden 20 metreye kadar ince ölçekli aletlerin, yaklaşık ± 5 mm ile ± 10 mm arasında bir sıfır nokta hatası ortaya çıkardığı görülmüştür. 5 metre ince ölçekli aletler için bu değer genellikle ± 5 mm ile sınırlı kalmaktadır. Aynı şekilde 2 metre ince ölçekli aletlerde sıfır nokta hatası ± 1 mm ile ± 2 mm arasında; 0,3 metre ince ölçekli aletlerde ise $\pm 0,2$ ile $\pm 0,3$ mm arasında kalmaktadır.

Bir elektromagnetik uzunluk ölçerin özellikleri, ölçme uzunluğundan ölçüm inceliği, ölçüm kolaylığı, taşıyıcı dalganın cinsi, fiatı, iş ekonomisi, ağırlığı ile servis kolaylığına kadar uzanan bir dizi ölçütle belirlenebilir. Bu ölçütlerin ışığı altında bir seçim yapılsa bile belirli zamanlarda, hiç olmazsa senede iki kez, hatta incelik isteyen işlerde ise işe başlamadan önce ve iş bittikten sonra aletin kalibrasyonunu kontrol etmek gerekir.

Çünkü fabrikasınca belirlenip aletle birlikte verilen kalibrasyon değeri, zamanla geçerliliğini yitirir. Bunun nedeni, alette kullanılan çeşitli elektronik komponentlerin yorulmaları ve eski duyarlıklarını

yitirmeleri başta olmak üzere diğer etmenlerdir.

Sıfır nokta hatası (sıfırlama hatası=ilave hata) nın, sabit bir değer olmadığını; uzaklığı ve yukarıda belirtilen etmenlere bağlı olarak bir miktar değiştiğini tekrar vurgulamakta yarar vardır. (Bkz.Elektronik Uzunluk Ölçerlerde Çevrel Faz Hatasının Araştırılması, Harita Müh. Der.No, T.UZEL)

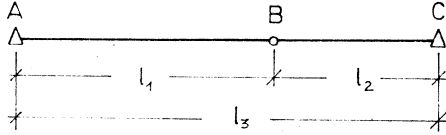
Sıfır noktası hatasının saptanması için kısa ve uzun mesafe ölçerlerde farklı yöntemler uygulanır.

2. KISA-MESAFE ÖLÇERLER İÇİN YÖNTEMLER

Kısa mesafe ölçerlerin sıfır noktalarının belirlenmesi için belli başlı dört yöntem vardır.

1. YÖNTEM :

Düz bir arazide, bir doğru üzerinde 60 ± 1 m ve 40 ± 1 m lik uzunluklar belirlenir.



Şekil : 1

Şekil:1'de görüldüğü gibi A, B ve C noktalarına alet kurularak l_1, l_2, l_3 uzunlukları ölçülür.

Aletin verdiği değerler L_1, L_2, L_3 ile ve sıfır nokta hatası da C ile gösterilirse:

$$L_3 + C = L_1 + C + L_2 \quad (1)$$

$$C = L_3 - (L_1 + L_2) \quad (2)$$

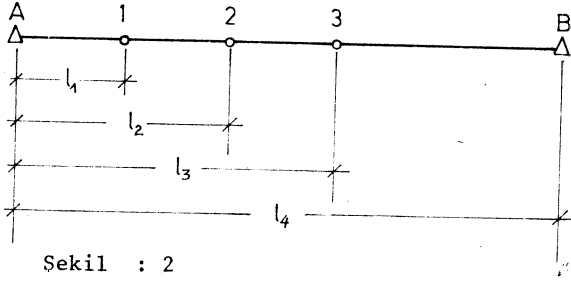
elde edilir. Burada,hesaba giren değerler düzeltilmiş, indirgenmiş değerlerdir.

2. YÖNTEM :

Kalibrasyon değerinin elde edilmesi için diğer bir yöntem de 20 m ila 100 m arasında uygun şekilde belirlenmiş en az dört tane kalibre edilmiş bazın ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Baz uzunluklarının belirlenmesinde olası çevrel faz hatalarından sakınmaya özen gösterilmelidir. Örneğin dört parçalı bir uzunlukta çalışılacaksa baz uzunluklarının artık kısımları 0,0 m, 2,5 m, 5,0 m ve 7,5 m olmalıdır.

Şekil : 2'deki gibi belirlenmiş baz uzunlukları, A noktasına alet kurularak sırayla ölçülür. Buna göre aletle okunan L_1, L_2, L_3 ve

L_4 ile bazların kesin uzunlukları l_1, l_2, l_3 ve l_4 karşılaştırılırsa



Şekil : 2

$$l_1 = L_1 + C \quad \rightarrow \quad C = l_1 - L_1$$

$$l_2 = L_2 + C \quad \rightarrow \quad C = l_2 - L_2$$

...

$$l_n = L_n + C \quad \rightarrow \quad C = l_n - L_n \quad (3)$$

olur. Bunların ortalaması alınırsa C,

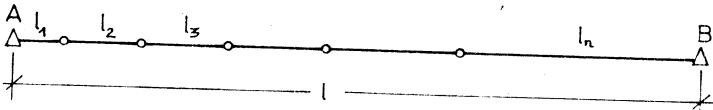
$$C = \frac{(l_1 - L_1) + (l_2 - L_2) + \dots + (l_n - L_n)}{n} \quad (4)$$

elde edilir.

3. YÖNTEM :

Bundan önceki her iki yöntemde de elde edilen düzeltme değerleri gerçek uzunluk ölçüsünün kendisinden daha incelikli olmayabilir. Kalibrasyon çizgisinin uzunluğundaki belirsizlikler ve merkezleme hataları, kolaylıkla birkaç milimetreyi bulabilir. Bu nedenle söz konusu iki yöntem, sabit değerlerin kontrolü için yeterli olabilir ama bunu saptamak için gerçekten uygun değildir.

Daha iyi bir yol, Şekil: 3'te görüldüğü gibi uzunca bir doğru alıp bunu bir kaç parçaya bölüp herbirini ölçerek kalibrasyon değerini bulmaktadır.



Şekil : 3

O zaman kalibrasyon,

$$L + C = L_1 + C + L_2 + C + \dots + L_n + C \quad (5)$$

$$C = \frac{L - L_1 - L_2 - \dots - L_n}{n - 1} \quad (6)$$

bağıntısından elde edilir.

Eğer m_l , ölçülen uzunluklardan herhangi birisinin ortalama hatası ise C'nin ortalama hatası

$$C = \frac{L}{n-1} - \frac{L_1}{n-1} - \frac{L_2}{n-1} - \dots - \frac{L_n}{n-1}$$

$$m_c = \sqrt{\frac{1}{(n-1)^2} m_l^2 + \frac{1}{(n-1)^2} m_l^2 + \dots + \frac{1}{(n-1)^2} m_l^2}$$

$$m_c = \sqrt{\frac{n+1}{(n-1)^2}} \cdot m_l$$

olur. (Her bir ölçünün ortalama hatası eşit varsayılarak.)

Eğer m_c nin m_l nin % 50 sinden küçük olması istenirse,

$$m_c \leq \frac{1}{2} m_l$$

$$m_c = \frac{1}{2} m_l$$

olur. Bunun n'ye göre çözümünden

$$\frac{1}{4} = \frac{n+1}{n^2 - 2n + 1}$$

$$n^2 - 6n - 3 = 0$$

$$n = 6,5$$

bulunur. Buna göre uzunluğu en az 6 veya 7 parçaya bölerek ölçmek gerektiği ortaya çıkar.

Bu yöntemde kalibre edilmiş uzunlukları gerekmez.

4. YÖNTEM :

Bir önceki yöntemin istatistik yönden dezavantajı, ilâve sabit değerın yeter kesinlikle elde edilememesidir. Bu dezavantaj ya da belirsizlik, istasyonlar arasındaki uzaklıkları kombinasyon halinde ölçerek giderilir. Örneğin Şekil 4'deki gibi 6 bölüme ayrılmış bir test uzunluğu üzerinde çalışılırsa tüm kombinasyonlar:

Alet	A	ya	kurularak	: A1, A2, A3, A4, A5, AB	6 ölçüm
"	1	e	"	: 12, 13, 14, 15, 1B	5 "
"	2	ye	"	: 23, 24, 25, 2B	4 "
"	3	e	"	: 34, 35, 3B	3 "
"	4	e	"	: 45, 4B	2 "
"	5	e	"	: 5B	1 "
TOPLAM					21 "

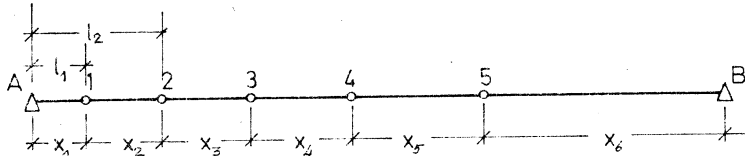
den oluşur. Burada 7 bilinmeyen vardır. Bunların 6'sı kenar uzunlukları biri de ilâve değerdir. 21 ölçüm yapıldığı için geriye 14 fazladan yapılmış ölçü kalır. Böylece en küçük kareler yöntemiyle bir aletin duyarlılığının yetkin bir analizi elde edilir.

Ara uzunlukların seçiminde şunlara dikkat edilir :

- Ara uzaklıklar, aletin ölçme uzunluğu içerisinde dengeli bir şekilde dağılmalıdır.

- Baz uzunluklarının ölçme uzunluğuna göre artık kısmı, yarım dalga boyuna eşit aralıklı olarak yayılmalıdır.

Bu koşuldan ilki, tüm ölçme uzunluğu boyunca aletin duyarlılığına karar vermeye olanak sağlar. İkincisi ise dengelemeden elde edilen kalıcı hataların analizinin yapılmasıyla, varolan herhangi bir çevrel faz hatasını saptamaya elverişli.



Şekil : 4

Hata denklemlerini.

$$L_1 + V_1 + C = X_1$$

$$L_2 + V_2 + C = X_1 + X_2$$

$$L_3 + V_3 + C = X_1 + X_2 + X_3$$

$$L_7 + V_7 + C = X_2$$

$$L_8 + V_8 + C = X_2 + X_3 \quad (9)$$

$$L_{20} + V_{20} + C = X_5 + X_6$$

$$L_{21} + V_{21} + C = X_6$$

şeklinde yazabiliriz. Buradan

$$L_1 = X_{01}$$

$$L_7 = X_{02}$$

$$L_9 = X_{03} \quad (10)$$

$$L_{13} = X_{04}$$

$$L_{15} = X_{05}$$

$$L_{18} = X_{06}$$

alır ve X_i yerine $(x_{0i} + \delta x_i)$ koyarak

$$L_1 + V_1 + C = X_{01} + \delta X_1$$

$$L_2 + V_2 + C = X_{01} + \delta X_1 + X_{02} + \delta X_2 \quad (11)$$

$$L_3 + V_3 + C = X_{01} + \delta X_1 + X_{02} + \delta X_2 + X_{03} + \delta X_3$$

.....

elde ederiz. Gerekli düzeltmelerden sonra hata denklemleri

$$\begin{aligned}
V_1 &= -C + \delta X_1 & -L_1 \\
V_2 &= -C + \delta X_1 + \delta X_2 & -L_2 \\
V_3 &= -C + \delta X_1 + \delta X_2 + \delta X_3 & -L_3 \\
&\dots \\
V_{21} &= -C + \delta X_6 & -L_{21}
\end{aligned} \tag{12}$$

dir. Buradan normal denklemlere geçilirse

$$\begin{array}{rcccccccc}
21C - 6\delta X_1 - 10\delta X_2 - 12\delta X_3 - 12\delta X_4 - 10\delta X_5 - 6\delta X_6 - & [a1'] & = & 0 \\
-6 + 6 & +5 & +4 & +3 & +2 & +1 & - & [b1'] & = & 0 \\
-10 + 5 & +10 & +8 & +6 & +4 & +2 & - & [c1'] & = & 0 \\
-12 + 4 & +8 & +12 & +9 & +6 & +3 & - & [d1'] & = & 0 \\
-12 + 3 & +6 & +9 & +12 & +8 & +4 & - & [e1'] & = & 0 \\
-10 + 2 & +4 & +6 & +8 & +10 & +5 & - & [f1'] & = & 0 \\
-6 + 1 & +2 & +3 & +4 & +5 & +6 & - & [g1'] & = & 0
\end{array} \tag{13}$$

olur. Bunun çözümü , C'yi ve diğer bilinmeyenleri verir.

2. ORTA VE UZUN MESAFE ÖLÇERLER İÇİN YÖNTEMLER

Uzunluk ölçerlerin kalibrasyonu, ölçme uzunluğunda yapılmalıdır. Orta ve uzun mesafe ölçerler için kombinasyon yöntemiyle kalibrasyon, hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle ya yukardaki ikinci yöntem uygulanır ya da kesin uzunluğu bilinen bir baz, elektronik uzunluk-ölçer tekrar ölçülüp karşılaştırma yapılarak ilâve değer saptanır.

l_0 : Bazın kesin değeri,

L : Elektrooptik uzunluk-ölçerin verdiği değer olarak gösterilirse

$$C = l_0 - L$$

olur.

(14)

Bu yöntemde sıfır noktası birbirinden bağımsız birçok ölçüm ile belirlenmeli ve bazlar, kırılma indisinin önemsiz derecede etki edeceği yerlerde seçilmelidir.

3. MİKRODALGA ALETLERİ İÇİN YÖNTEMLER

Mikrodalga aletleriyle yapılan ölçümlerde, yansımalar ve bazı atmosferik koşullar çok etkili olduğu için sıfır noktalarının belirlenmesinde yansıma etkilerinin bulunmadığı bir baz üzerinde ölçüm

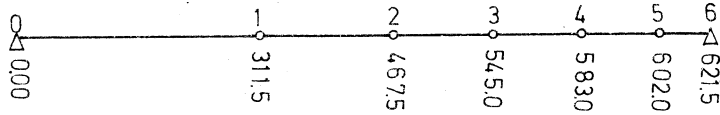
için elverişli atmosferik koşullarda ölçüm yapılır. Ve C değeri, (14)e göre hesaplanır.

4. ÖRNEK

Bir kısa uzunluk elektrooptik uzunluk ölçerinin kalibrasyon değeri 4. yöntemle göre araştırılmaktadır. Düz bir arazide, Şekil:5'teki gibi bir ölçü uzunluğu oluşturulmuştur.

Noktaların yerleri, ± 10 cm incelikte belirlenmiştir.

Aletle yapılan ölçümler sırasında başta ve sonda sıcaklıklar ve ortada barometrik okumalar yapılmıştır. Ayrıca düşey açılarda gözlenmiştir.



Şekil : 5

Elde edilen düzeltilmiş uzunluk ölçümleri, Çizelge : 1'de gösterilmiştir.

E D M ÖLÇÜLER ORTALAMASI						
6	5	4	3	2	1	0
621.442	601.915	582.896	544.841	467.328	311.378	
310.042	290.515	271.510	233.443	155.945		
154.087	134.565	115.546	77.483			
76.567	57.050	38.048				
38.524	18.998					
19.510						

Çizelge : 1

Dengeleme hesapları için (11) den devam ederek $-\Sigma aL'$, $-\Sigma bL'$, bulmak amacıyla Çizelge : 2 düzenlenir.

a	b	c	d	e	f	g	-L
-1	1						0
-1	1						-5
-1	1	1					-35
....							
-1					1		0

Çizelge : 2

Buradan

$$\begin{aligned} - \Sigma a L' &= 507 & - \Sigma e L' &= - 436 \\ - \Sigma b L' &= -225 & - \Sigma f L' &= - 361 \\ - \Sigma c L' &= -377 & - \Sigma g L' &= - 213 \\ - \Sigma d L' &= -471 \end{aligned}$$

değerleri hesaplanır. Bunlar (13) normal denklemlerinde yerlerine konur. Normal denklemlerin çözümünden

$$C = 17.629 \text{ mm}$$

$$\delta X_1 = 15.465 \text{ mm}$$

$$\delta X_2 = 13.322 \text{ mm}$$

$$\delta X_3 = 23.465 \text{ mm}$$

$$\delta X_4 = 10.761 \text{ mm}$$

$$\delta X_5 = 15.465 \text{ mm}$$

$$\delta X_6 = 14.322 \text{ mm}$$

ve

$$[vv] = 433.167$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{[vv]}{n-u}} = \sqrt{\frac{433.167}{21-7}} = \pm 5.56 \text{ mm}$$

bulunur.

Ağırlık Katsayıları

0.2	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
	0.302	-0.127	0.016	0.016	0.016	0.016
		0.302	-0.127	0.016	0.016	0.016
			0.302	-0.127	0.016	0.016
				0.302	0.127	0.016
					0.302	-0.127
						0.302

olduğundan

$$m_c = m_o \sqrt{Q_{cc}} = 5.56 \sqrt{0.2} = \pm 2.488 \text{ mm}$$

$$m_{\delta x} = m_{\delta x_1} = m_{\delta x_2} = \dots = m_o \sqrt{Q_{\delta\delta}} = 5.56 \sqrt{0.302} = \pm 3.057 \text{ mm}$$

elde edilir.

KAYNAKLAR

- /1/ KACHMEN, H. : Elektronische Messverfahren in der Geodäsie, Karlsruhe 1977.
- /2/ SCHWENDENER, H.R : Electronic distancers for short ranges. Accuracy and checking procedures.
- /3/ : Alet prospektüsleri