elektromagnetik uzunluk ölçerlerin laboratu¥ar koşullarında kaiibrasyonu

Yük. Müh. Uğur DOĞAN -Yük. Müh Özgür GÖR Müh. Aysel ÖZÇEKER

ÖZET

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Kalibrasyon Laboratuvarı'nda bulunan elektromagnetik uzaklık ölçerlerden 27093 seri nolu Sokkisha Red 2A ile yapılan, 101 okumalı seri ölçüm sonucu aletin ek değeri ve çevrel faz hatası belirlenmiştir.

Çalışmanın konusunu açıklayan giriş bölümünün ardından ikinci bölümde elektronik uzunluk ölçümünde incelik kısaca anlatılmıştır. Üçüncü bölümde elektromagnetik uzunluk ölçerlerin kontrol ve kalibrasyonu açıklanarak elektromagnetik uzunluk ölçerlerin laboratuvar koşullarında oluşturulan kısa bazda çevrel faz hatası ve ek değerinin belirlenmesine ilişkin matematiksel modelleri verilmiştir. Son bölümde bir sayısal uygulama yapılmış, elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

1. GİRİŞ

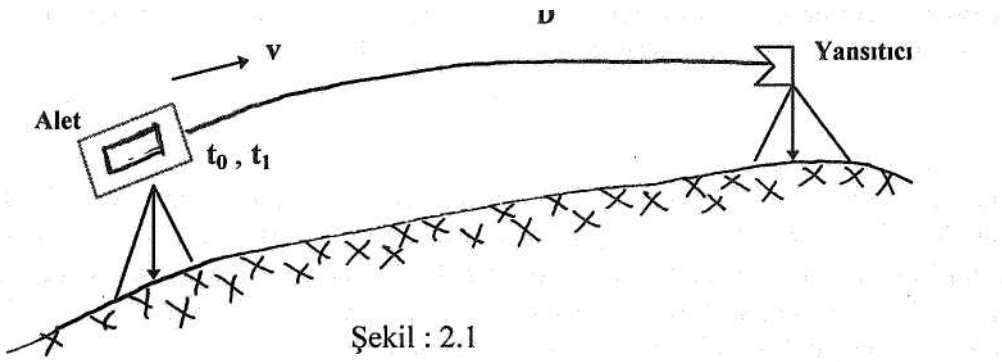
Elektromagnetik uzunluk ölçme aletlerinden beklenen ölçüm inceliği 1-2 mm/km, kadardır. Bu inceliğe erişmek oldukça zordur. Çünkü ölçümü bir yandan aletin yapısına bağlı hatalar etkilerken öte yandan kullanılan taşıyıcı dalgayı, gidiş - dönüşü sırasında içinden geçtiği atmosfer etkilemektedir. Bu nedenle aletleri kullanırken öncelikle özelliklerinin iyice bilinmesi ve amaca ve gereken inceliğe göre aletin seçilmesi gerekir (Uzel,1981).

Ölçme aletlerinin kontrolü ile kalibrasyonu birbirinden farklı kavramlardır. Bir ölçme aletinin kontrolü, aletin doğru çalışıp çalışmadığını saptamak için yapılan test ölçümleridir. Kalibrasyon ise, doğru ölçüm sonuçları vermesi için aletin ayarlanmasıdır. Elektronik uzunluk ölçerler hiç kullanılmazsa bile senede en az 2 kez kontrol edilir. Genellikle ölçüme çıkmadan önce alet kontrol edilmelidir. Ancak önemli işlerde ölçüye başlamadan önce ve ölçüm bittikten sonra alet kontrol edilir.

Düzenli hataların kaynağı; atmosferik koşullar, aletin yapısına bağlı hatalar v.b.dir. Bu hatalar, ancak aletin parametreleri olarak adlandırılan ek değer ve çevrel faz hatasının belirlenmesi ile saptanabilirler. Ek değer; faz kayması, ölçüm esnasında farklı prizma ve farklı fazlarla çıkan sinyallerin kullanılması sonucu meydana gelmektedir. Ölçme esnasında gönderilen dalganın fazı ile alınan dalganın fazı arasında, aletin ısınmasından ötürü meydana gelen faz kaymasından dolayı periyodik üstüste binmeler oluşur. Bu da çevrel faz hatası olarak adlandırılır. Bu parametrelerin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri, laboratuvarda gerçekleştirilen kısa uzunluk ölçümlerine dayanır.

2. ELEKTROMAĞNETİK UZUNLUK ÖLÇÜMÜNDE İNCELİK

Elektronik ölçme aletlerinin günümüzde kullanma alanlarının genişlemesinin nedeni büyük ölçüm kolaylığı sağlamasıdır. Bu aletlerin seçiminde ve doğru kullanılmasında en önemli ölçüt inceliktir. Elektronik uzaklık ölçerlerle yapılan ölçümler her zaman verilen ölçüm inceliği sınırları içerisinde kalmaz. Bu nedenle yapılan ölçümlerin doğruluklarını belirlemek ve güvenirliğini arttırmak için aletlerin ölçüm inceliğinin kontrol edilmesi gerekir.



Şekil : 2.1

Şekil:2.1 de görüldüğü gibi t_0, ışığın gönderildiği an t_b ışığın yansıtıcıdan geri dönüp alete geldiği an olarak tanımlanırsa ışık, (t(- t_0) zamanında 2D yolunu almaktadır. Bu yol

$$D = | (t , - t_o) v \qquad (2.1)$$

olarak ifade edilir. Burada v s 300.000 km/s dır.

(2.1.) eşitliğinde t = (t_t -1_0) yazılır ve kısmi türevi alınırsa

$$dD =]- vd\ t \qquad (2.2)$$

elde edilir. (2.2) eşitliğinde ışık hızı yaklaşık 300.000 km/S alınırsa, bir uzunluğu lcm incelikle ölçebilmek için t zamanının m_t = 0.7 $10"^{10}$ S incelikle belirlemek gerekir. Elektromağnetik dalgaların yayım ve alım zamanını aynı incelikle saptamak kolay değildir. Bu nedenle zaman doğrudan değil dolaylı yollardan ölçülür.

Elektomağnetik dalgalarla uzunluk ölçümü, modülasyon frekansı kesin olan bir mikrodalgayı veya modüle edilmiş bir ışık ışınını ölçülecek uzunluğun bir ucundan yaymak ve diğer uçta bulunan diğer bir yansıtıcı ile geri gönderilen modüle edilmiş dalga arasındaki faz farkının kaydetilmesiyle gerçekleştirilir.

Ölçülen uzunluk,

$$D = - (m + \frac{x}{\ell}) \qquad (2.3)$$

eşitliği ile verilir (Uzel,1981).
Burada,

m = ölçülen uzunluğa sığan tamdalga boylarının sayısı
0 = faz farkı
X = dalga boyunu gösterir.

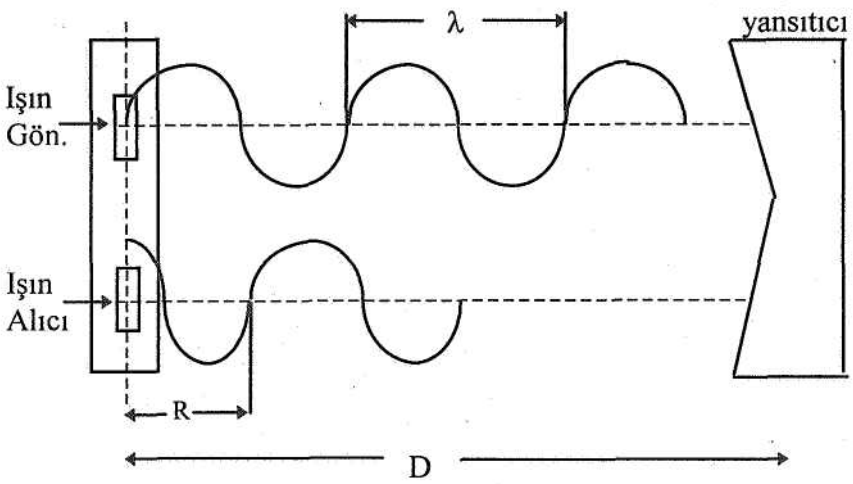
(2.3) eşitliğinin faz farkı ölçülerde bulunan artık kısmı R ile gösterilir ve *X* yerine

$$X = -\wedge- \qquad (2.4)$$

yazılırsa eşitlik

$$D = \frac{m\ e\ l}{y\ -\ 7\ +}\ R \qquad (2.5)$$

olur (Şekil:2.2) (Uzel, 1981).



Şekil : 2.2

(2.5) eşitliğinin değişkenlere göre kısmi türevleri alınırsa

$$d\ D = -\ f\ f\ ¥\ d\ f\ -\ f\ \ 4\wedge<?^{n+}<?^{R} \qquad (2\text{-}6)$$

olur. Burada,

$$\frac{m\ c\ \ 1}{T\ -\ J\ \ 3\ \ D} \qquad (2.7)$$

yazılırsa (2.6) eşitliği

$$d\,D = -D\,\frac{"5\,x^{*}}{f} - D\,\frac{3}{n} + d\,R \qquad (2.8)$$

olur.

(2.8) eşitliğinde kırılma indisi hatası ile frekans hatası uzunlukla doğru olarak uzunluğu etkilemektedir. Kırılma indisi ve frekans hatası birlikte ölçek hatası olarak ifade edilir. Aletin yapısına bağlı hatalarıda gözönüne alırsak ve *d* R terimimde içine alan yeni bir terim eklenmesi gerekir.

(2.8) eşitliği

$$dD = \{-\backslash\, d\,f - \;\; -d\,n)D + q \qquad (2.9)$$

olarak yazılır (Uzel, 1981).

p ölçek hatası ile q ek hata ile gösterilirse elektromağnetik uzunluk ölçme aletleriyle yapılan ölçümlerde hassasiyet,

$$m = \pm(q + plO"^{6}D) \qquad (2.10)$$

eşitliği ile verilir.

3. ELEKTROMAĞNETİK UZAKLIK ÖLÇERLERİN KONTROL VE KALİBRASYONU

Elektromağnetik uzaklık ölçerlerin ek değerinin (C) belirlenmesi ve belirlenen bu değerin üretici firma tarafından verilen incelik değeri ile karşılaştırılması sonucu aletin kontrolü yapılmış olur. Eğer, kontrol sırasında elde ettiğimiz ek değer, firma tarafından verilen sınır değerinin dışında kalıyorsa, aletin buna uygun olarak ayarlanması gerekir.

İşte aletsel hataların veya alet parametrelerinin (çevrel faz hatası ve ek değer hatası) belirlenmesi ve aletin buna uygun olarak düzeltilmesi ise kalibrasyon olarak adlandırılır. Kalibrasyon işlemi, kontrol işlemine göre çok daha karmaşıktır.

3.1. Çevrel Faz Hatası

Ölçme esnasında gönderilen dalga ile alınan dalga arasında, aletin ısınmasından ötürü meydana gelen faz farkından dolayı periyodik üstüste binmeler oluşur. Bu da çevrel faz hatası olarak adlandırılır. Gönderici ve alıcı sistemlerin birbirlerinden yalıtılmaları ve kısa birim uzunluk kullanılması ile bu hata elimine edilebilir.

Çevrel faz hatalarım, alman sinyalin büyüklüğüne bağlı olan ve olmayan hatalar olarak ayırmamız mümkündür.

3.1.1. Alınan Sinyalin Büyüklüğüne Bağlı Çevrel Faz Hatası

Sinyal büyüklüğüne bağlı çevrel faz hataları, sinyal bölümlerinin yansıma nedeniyle uzunluk üzerinde birçok defa gidip gelmesinden oluşmaktadır. Sinyale bağlı çevrel faz hataları için uzaklığa bir düzeltme getirilmez. Bu hataların genlikleri ve fazlan uzaklığa bağlı olarak değişir.

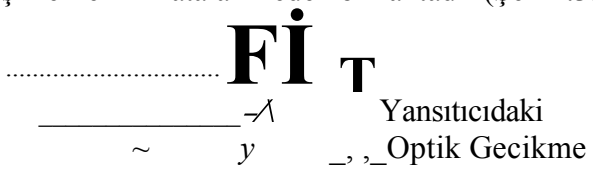
3.1.2. Alınan Sinyalin Büyüklüğüne Bağlı Olmayan Çevrel Faz Hatası

Alman sinyalin büyüklüğüna bağlı olmayan çevrel faz hataları, faz ölçerlerdeki doğrusallık hatası ile ortaya çıkar. Faz ölçümünde resolverlerin kullanıldığı aletlerde üstüste bindirme hatasına, diğer bir çevrel hata yani resolver hatası eklenir (Uzel, 1981).

Bir aletin çevrel faz hatası, milimetre bölümlü bir ray üzerinde yansıtıcının kaydırılarak yeterli sayıda ölçüm yapılması ile saptanır. Aletin verdiği uzunluk değerleri ile , rayın milimetrik bölümlerinden okunan değerler karşılaştırılırsa aradaki fark, bu aletin çevrel faz hatasını gösterir.

3.2. Elektromağnetik Uzunluk Ölçme Aletlerinin " Ek Değer " Hatası

Elektromağnetik uzunluk ölçme aletlerindeki ek değer hatasına, ışın gönderici ve fotodedektörlerin faz inhomojenliği, ışın yollarındaki yansıtıcıdan gelen geometrik gecikmeler ve dış merkezlik hataları neden olmaktadır (Şekil :3.1).

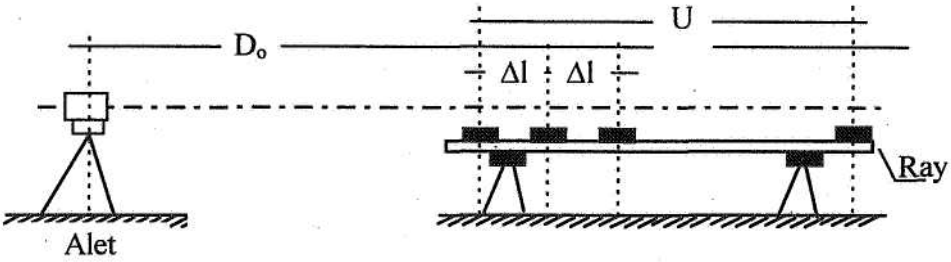


Şekil: 3.1

Ek değer hatası nedeniyle alet, ölçülen uzunluğu gerçek değerinden bir miktar daha küçük gösterir. Alet ek değerinin kontrolünün amacı, ölçü başlangıç noktasının kaymasından dolayı oluşan düzeltme değerini belirlemek ve bu değerin ortalama hatasını elde etmektir. Bu hatanın belirlenmesi, kısa ve uzun mesafe ölçerlerde farklı yöntemlerle yapılır. Ek değer hatası birbirinden bağımsız bir çok ölçüm ile belirlenmeli ve uzunluklar kırılma indisinin önemsiz derecede etki edeceği yerlerde seçilmelidir (İnal, 1984).

3.3. Çevrel Faz Hatası ve Ek Değerin Belirlenmesi

Çevrel faz farkı, laboratuvarda uzunluğu bilinen ve uygun bir şekilde birim uzunlukla bölümlendirilmiş ölçme bazında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu belirlenir. Alet bazın ucuna kurulur ve yansıtıcı ölçme rayı üzerinde hareket ettirilerek ölçümler yapılır (Şekil:3.2). Kalibrasyon yönteminde uygulanan matematiksel model, ölçülen uzunluğun değeri ile bilinen değerin karşılaştırılması esasına dayanır.



Şekil : 3.2

Yansıtıcı 10 cm aralıklarla ray üzerinde kaydırılır ve her bir konumda 5 okuma yapılarak bu okumaların aritmetik ortalaması alınması ile ölçü değeri Dj bulunur. Çelikşerit metre üzerinde bölümlendirilmiş değerlere göre aynı uzunluk ej ile gösterilirse, aralarındaki fark

$$di = e,-D_s \qquad (3.1)$$

olur.

Ek değerin uzunluğa bağlı olarak değişmediği ve bilinen uzunluk ile ölçülen uzunluk arasındaki farkların; ek değer hatası, çevrel faz hatası ve diğer düzensiz hatalardan oluştuğu kabul edilirse;

$$di + v^{\wedge}fCAcp) \qquad (3.2)$$

düzeltme denklemleri kurulur.

(3.2) eşitliğindeki Acp fonksiyonu, ölçmelerdeki düzenli hataların bir fonksiyonu olarak kabul edilir. Çevrel faz hatası, birim uzunluk içinde sinüsoidal olarak değişir. Çevrel faz hatasının periyodik bir hata olduğundan bunu en iyi şekilde ifade eden fonksiyon, trigonometrik bir fonksiyondur. Bu nedenle hata, Fourıer Serisi ile ifade edilir.

$$f(Acp) = K_{O0}+K_{1}\text{CosA}<p+K_{12}\text{sinA}(p+K2i\text{Cos}2A\text{ş}+K_{2}2\text{Sİn}2A<p+.... \qquad (3.3)$$

Bu eşitliklerde; K_{oo} , Kn , K_{21},..... Fourıer katsayılarıdır. K_{oo} ek değer hatası olarak

tanımlanır.

(3.3) eşitliği (3.2) de yerine yazılırsa, her ölçü için

$$d; + Vj = K_{00}+K_{1}\text{,cosA}(p+K_{21}\text{COs}2A(p+K_{1}2\text{SİnA}(p+K_{2}2\text{Sİn}2Acp+.... \qquad (3.4)$$

düzeltme denklemleri kurulur (Deniz, 1981). En küçük kareler yöntemi ile dengelenerek K_{oo}, K_n , K_{21} .. Fourier katsayıları bulunursa, çevrel faz hatası

$$f(Acp) = A!\sin(Acp+\backslash j/_{1}) + A_2\sin(2Acp+\backslash\backslash/_2) +..... \qquad (3.5)$$

eşitliği ile elde edilir.
Eşitliklerdeki

$$A(p_I = ((D_i-D_0)/U)27i \quad (3.6)$$

$$A_x^2 = K_n^2 + K_n^2 \quad (3.7)$$

$$A_2^2=K_{21}^2+K_{22}^2 \quad (3.8)$$

$$¥_1 = \arctan(K_n/K,_2) \quad (3.9)$$

$$\backslash|/_2 = \arctan (K_{21} / K_{22}) \quad (3.10)$$

olarak alınır.

Burada;

Ko_O, Ek değer veya düzeltmesi
Aj, A_2, Çevrel faz hatasının genliklerini gösterir.

4. UYGULAMA

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Kalibrasyon Laboratuvarı'nda bulunan elektromagnetik uzaklık ölçerlerden Sokkisha Red 2A ile uzunluğu 12 m olan bir bazda yapılan, 101 okumalı seri ölçüm ile bu aletin ek değeri ve çevrel faz hatasının belirlenmesine çalışılmıştır. İlk okuma 2.00 m ve son okuma 12.00 m olmak üzere baz üzerinde, 10 cm arayla okumalar yapılmıştır. Her 10 cm de 5 okuma yapılmış ve bu okumaların ortalaması alınmıştır. Sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

(3.4) eşitliğine göre her bir ölçü için düzeltme denklemleri kurularak en küçük kareler yöntemine göre dengelenip bilinmeyenler ve ortalama hataları hesaplanmıştır (Tablo: 1).

Tablo : 1

Bilinmeyenler (mm)		Bilinmeyenlerin ortalama hataları (mm)
K_{00}	5.5345	0.0546
K_{11}	-0.3055	0.0768
K_{12}	-0.1731	0.0776
K_{21}	-0.2104	0.0768
K_{22}	-0.0044	0.0766

(3.7), (3.8), (3.9), (3.10) eşitliklerinden çevrel faz hatasının genlikleri;

A! = 0.3494 \|/! = 67.0021
A2 = 0.2104 $\backslash|/_2$= 98.6689

hesaplanmıştır.