

2215

KISA BOYLARIN ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇERLERLE ÖLÇÜLMESİNDE PRESİZYON ARAŞTIRMASI

(DOKTORA TEZİ)

Yük. Müh. Rasim DENİZ

Tezin Dekanlığa Verildiği Tarih : 26 Aralık 1980

Tezin Müdafaa Edildiği Tarih : 1 Nisan 1981

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi : Prof. M. Gündoğdu ÖZGEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet AKSOY

: Doç. Dr. Orhan BAYKAL

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ MATBAASI

1 9 8 1

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY

SEMBOLLER

GİRİŞ

I. BÖLÜM: ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇMESİNİN İLKELERİ

1.1. Tanım

1.2. Elektro-optik uzaklık ölçerlerin çalışma ilkeleri

1.3. Elektro-optik uzaklık ölçmenin ilkeleri

1.4. Elektro-optik uzaklık ölçerlerin ölçme ilkesi

1.5. Elektro-optik uzaklık ölçerlerle boy ölçmesinin matematik modeli

1.5.1. Genel

1.5.2. Meteorolojik düzeltmeler

1.5.3. Geometrik düzeltmeler

II. BÖLÜM: ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇMELERİNDE HATALAR

2.1. Genel

2.2. Geometrik düzeltme hataları

2.3. Merkezleştirme hatası

2.4. Yöneltilme hatası

2.5. Boşluktaki ışık hızı hatası

2.6. Kırılma indisi hatası

2.7. Aletsel hatalar

2.7.1. Sıfır noktası eki hatası

2.7.2. Okuma hatası ve faz farkı ölçme hatası

2.7.3. Model dalgaların frekans hatası (ölçek hatası)

III. BÖLÜM: KISA BOY ÖLÇMELERİ İÇİN ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇERLERİN ALETSEL HATALARININ BELİRLENMESİ VE KALİBRASYON

3.1. Genel

3.2. Laboratuvar ölçmeleri ile kalibrasyon

3.2.1. Model dalgaların frekans kalibrasyonu

3.2.2. Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçmenin kalibrasyonu

3.3. Arazi ölçmeleri ile kalibrasyon

3.3.1. Baz kenarı yöntemi

3.3.2. Kesit yöntemi

3.3.2.1. Kontrol kenarının tasarımı

3.3.2.2. Kontrol kenarlarının ölçeklendirilmesi

3.3.2.3. Kontrol kenarındaki ölçülerin değerlendirilmesinde uygulanacak matematik model

3.3.3. Kestirme yöntemi

IV. BÖLÜM: KALİBRASYON ÖLÇMELERİ VE HESAPLARI

4.1. Genel

4.2. Laboratuarda sıfır noktası eki ve faz farkı ölçmesinin kalibrasyon ölçmeleri ve hesapları

4.2.1. Ölçme bazının oluşturulması

4.2.2. Ölçme bazındaki ölçülerin yapılması

4.2.3. Ölçmelerin değerlendirilmesi

4.2.3.1. Ölçmelerdeki düzenli ve düzensiz hataların saptan- ması

4.2.3.2. Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme hatasının belirlenmesi

4.3. Kontrol kenarlarında sıfır noktası eki ile faz farkı ölçmesinin kalibrasyon ölçmeleri ve hesapları

III

4.3.1. Kontrol kenarlarının tasarımı ve oluşturulması

4.3.2. Kontrol kenarlarında ölçmelerin yapılması ve indirgenmesi

4.3.3. Ölçmelerin değerlendirilmesi

4.3.3.1. Okuma ve yöneltme hatasının hesaplanması

4.3.3.2. Sıfır noktası ekinin, faz farkı ölçme hatasının ve düzensiz ölçme hatalarının hesaplanması

4.3.3.3. Sıfır noktası ekinin uzunluğa bağımlılığının araştırılması

4.4. Laboratuvar ölçmeleri ile arazi ölçmelerinin sonuçlarının irdelenmesi

V. BÖLÜM: SONUÇLAR VE ÖNERİLER

ÖZET

Bu çalışmada; kısa boyların elektro-optik uzaklık ölçerlerle ölçülmesinde ölçme, hesaplama, kalibrasyon yöntemleri ile ölçmelerin presizyonlarının hesaplanması araştırılmaktadır.

Çalışmanın I.bölümünde; elektro-optik uzaklık ölçerlerin çalışma ve ölçme ilkeleri incelenmekte ve bu tip aletlerle ölçülen kısa boyların hesap yüzeyine indirgenmesinin matematik modeli çıkarılmaktadır.

II.Bölümde, elektro-optik uzaklık ölçmelerinde oluşan hatalar incelenmiş ve bu hatalara bağlı olarak bir ölçmenin karesel ortalama hata eşitliği verilmiştir. Ayrıca kırılma indisi eşitliği irdelenerek, en uygun atmosferik koşullarda kırılma indisi karesel ortalama hatasının $\pm 1.10^{-6}$ oranında olabileceği gösterilmiştir.

III.Bölümde, elektro-optik uzaklık ölçerlerin kalibrasyon yöntemleri araştırılmaktadır. Şimdiye kadar uygulanan laboratuvar ölçmeleriyle kalibrasyon ve arazi ölçmeleriyle

kalibrasyon yöntemlerinin matematik modelleri verilmektedir.

IV.Bölümde, DI3 (Wild),AutoRanger (Keuffel and Esser) elektro-optik uzaklık ölçerleriyle:Laboratuarda oluşturulan kısa bazda ve arazide ise Schwendener tipi [6] kontrol kenarında ve ayrıca B.Witte,H.Fröhlich tipi [10] kontrol kenarında kalibrasyon ölçmeleri yapıp değerlendirilmekte ve yöntemler karşılaştırılmaktadır. Ölçmelerin okuma ve yöneltme karesel ortalama hatalarının hesaplanmasının matematik modeli verilmektedir.

V.Bölüm ise,elde edilen sonuçları ve önerileri içermektedir.

SUMMARY

In this research measurement, computation and calibration methods of measuring short ranges by electro-optical distance measurement instruments are investigated. Besides the computation precision of measurements are searched throughly.

In the first part the functioning and measurement principles of electro-optical distance measurement instruments are given. Besides these the properties of the carrier waves and modulation waves, their derivation, methods of measuring phase difference of the electro-optical distance measurement instruments are given. Starting from these the mathematical relationship to derive a distance is stipulated. Following these instrumental phenomena for short ranges measured by this brand of instruments the mathematical model of reducing them to the reference surface is derived.

In the second part the error that occurred during measurement by electro-optical distance measurement instruments

have been investigated. The mean error of a measurement is given as the sum of two components one of which is independent of the measured range while the other is dependent of the measured range. Besides these geometrical correction error, centering error, additive constant error, phase measuring error, pointing error, the error of velocity of lights in vacuo, refractive index error and modulation frequency error were investigated separately and their formation, characteristics, their effects were discussed. Under various atmospheric conditions for various carrier waves it was shown as a result of the errors of measuring temperature and atmospheric pressure the mean square error of the refractive index would be of the order 1.10^{-6} under typical conditions.

In the third part of this work the methods of calibration of these brand of instruments are investigated. Calibration methods may be grouped under two headings:

- 1- Calibration in the laboratory
- 2- Calibration in the field

Modulation frequencies may be found by frequency counters in the laboratory and the calibration of the additive constant and phase difference measurement may be done in

III

short bases in the laboratory. The formation of such bases and the mathematical model of evaluation of these measurements are given.

In the field calibration may be done by section and intersection methods. For the formation of calibration lines where the measurement of additive constant and measurement of phase difference may be done jointly for undertaking calibration measurements, along calibration lines and for evaluation of measurements the most appropriate mathematical model is given. It was shown that this was the best method of determining the mean square error of range measurements.

In the fourth part, starting from the measurement done on the short base formed in the Laboratory calibration measurements were done and evaluated; methods of calibration were compared. In the field the same deeds were carried on calibration lines of the type H.R. Schwendener, B. Witte and H. Fröhlich. Measurements in the laboratory and in the field were carried by DI3 (Wild) and AutoRanger (Kueffel and Esser) electro-optical distance measurement instrument.

From the measurement done on the short base formed in the laboratory it was found that the function of phase

difference measurement is given by the following trigonometrical functions for the two instruments used throughout this study:

$$\text{For DI3} \quad -2.15 [\text{mm}] \cdot \sin(\Delta\psi + 23^{\circ}13') \pm 0.22 [\text{mm}]$$

$$\text{For AutoRanger} \quad 2.13 [\text{mm}] \cdot \sin(\Delta\psi - 43^{\circ}42') \pm 0.35 [\text{mm}]$$

For the mean square error of a single reading the following values were found for the two instruments:

$$\text{For DI3} \quad \pm 0.90 [\text{mm}]$$

$$\text{For AutoRanger} \quad \pm 0.53 [\text{mm}]$$

From the measurements done on the calibration lines formed in the field it was not possible to determine the function of phase difference measurement in a reliable way. It was found that DI3 did not have an additive constant and for the additive constant of the AutoRanger the following value was found:

$$K = 4.2 [\text{mm}] \pm 1.3 [\text{mm}]$$

It was determined that the additive constants of the two instruments did not depend on the range in a significant way.

From field measurements it was found that the reading and pointing mean square error has the following values for the two instruments:

For DI3 $\pm 1.6 [\text{mm}]$

For AutoRanger $\pm 2.1 [\text{mm}]$

By comparing the results thus obtained it was found that the additive constant and the function of phase difference measurement may be taken following two trigonometrical functions for the two instruments:

For DI3 $F_Z [\text{mm}] = -2.05 \cdot \sin(\Delta\psi + 23^{\circ}13') \pm 0.4 [\text{mm}]$

For AutoRanger $F_Z [\text{mm}] = 4.2 + 2.13 \cdot \sin(\Delta\psi - 43^{\circ}42') \pm 1.3 [\text{mm}]$

It was demonstrated that to correct the measurements by using the above stated trigonometric functions bettered the results.

In the fifth part results are given and propositions are explained as far as the subject matter of this thesis is concerned.

The random component of the mean square error of a measurement is composed of reading mean square error, pointing mean square error, centering mean square error, geometrical reduction mean square error and refractive index mean square error. These mean square errors may be controlled by the number of measurements. To this end the number of measurements made in one setting of the instrument by independent pointings, and in a range the number of setting the instrument under

different atmospheric conditions should be determined.

The systematic component of the mean square error of a measurement should be determined by calibration.

The function of phase difference measurement should be determined at the short bases formed in the laboratory.

In calibration lines of the type B.Witte and H.Fröhlich the determination of the additive constant is depended on the closeness of the phase of the function of phase difference measurement to zero. If the function of phase difference measurements has forward and backward phases, then the measurement of calibration lines should be corrected according to this.

The reliability and the precision of the additive constant computed from the corrected measurements in line with the function of phase difference measurement determined at the calibration line of the type B.Witte, H.Fröhlich type are close to the one computed at the calibration line of the type H.C.Schwendener.

I

SEMBOLLER

<u>Sembol</u> :	<u>Anlamı</u> :	<u>Birimi</u> :
b	Baz uzunluğu	m
c _o	Boşlukta ışık hızı	ms ⁻¹
c	Ortamda elektromagnetik dalga hızı	ms ⁻¹
e	Kısmi su buharı basıncı	mmHg
f	Frekans	Hz
k	Kırılma katsayısı	
m	Karesel ortalama hata	
n _o	Alet içi kırılma indisi	
n _g	Gurup kırılma indisi	
n _a	Ortamın kırılma indisi	
p	Atmosferik basınç	mmHg
t	Sıcaklık	°C
D	Ölçülen uzunluk	m
H	Deniz seviyesinden yükseklik	m
K	İndirgeme düzeltmesi	m
S	İndirgenmiş uzunluk	m
λ _o	Boşlukta dalga boyu	m
λ	Ortamda dalga boyu	m
σ	Eğrilik yarıçapı	m
R _α	Yeryüzü eğrilik yarıçapı	m
ΔN	Jeoid ondülasyonu	m

GİRİŞ

Son yıllarda, elektromagnetik uzaklık ölçerlerle boy ölçmeleri, jeodezik ölçme yöntemleri içinde önemli ölçüde yaygınlaşmıştır. Bu durum; elektromagnetik uzaklık ölçerlerle boyların doğru, çabuk, ekonomik ve doğa koşullarına daha az bağımlı olarak doğrudan ölçülebilmesi yanında, ölçme amacının gerektirdiği doğruluğu elde etmek için ölçü sayısını arttırmak düşüncesinden de kaynaklanmaktadır. Elektromagnetik boy ölçmelerinin katkısıyla şimdiye kadar ulaşılamayan doğruluklar tasarlanmakta ve bunlara ulaşılmaktadır.

Elektromagnetik boy ölçümü; eski jeodezik ağların yenilenmesi, yeni ağların kurulması, özellikle nokta seçiminin güç olduğu yerleşme alanlarında ve bitki örtüsü yoğun olan alanlarda jeodezik ağların poligon dizileriyle oluşturulması v.b. günlük çalışmalarda büyük ölçüde uygulanabilir. Yüksek presizyon ve kısa ölçme zamanı gerektiren yerkabuğu hareketlerinin jeodezik yöntemlerle izlenmesi ve baraj, köprü v.b. yapıların kontrol ölçmeleri gibi güncel ölçmelerde elektromagnetik boy ölçmeleri zorunludur.

Günümüzde, elektromagnetik uzaklık ölçerler teknik yön-
den iki bölümde gelişmektedir. Bunlardan "mikrodalga uzaklık
ölçerler" genel olarak uzun boy ölçmeleri için geliştirilmiş-
tir ve ölçme uzaklıkları yaklaşık 0,1-150 km dir. "Elektro-
optik uzaklık ölçerler" in çoğunluğunda ölçme uzaklığı 0-2,5
km dir. Bu mertebedeki kısa boyların ölçülmesinde başarı ile
kullanılan elektro-optik uzaklık ölçerler açı ölçme, bilgi
işleme ve saklama sistemleri ile de birleştirilerek ekono-
mik bir yöntem olarak "elektronik takeometre"ler elde edil-
mektedir. Bu gelişme elektro-optik uzaklık ölçerlerin önemi-
ni daha da arttırmıştır.

Araştırmalarda, elektro-optik uzaklık ölçerlerle yapı-
lan ölçmelerin her zaman verilen doğruluk sınırları içinde
kalamadığı, ölçülerin iç uygunluk testleri ile saptanamıyan
düzenli hatalarla yüklü olabileceği, bu nedenle ölçülerin
doğruluklarını belirlemek ve güvenilirliklerini sağlamak için
aletlerin periyodik olarak kontrol edilmeleri gerektiği gös-
terilmiştir [1],... ,[11].

Bu çalışmada, kısa boyların elektro-optik uzaklık ölçer
lerle ölçülmesinde oluşan hatalar, bu hataların nitelikleri
ve ölçmelere etkilerinin saptanması ve azaltılması için uygun
yöntemler araştırılmaktadır.

I. BÖLÜM

ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇMESİNİN

İLKELERİ

1.1. Tanım :

Taşıyıcı dalga olarak; gözle görülen ışık dalgası, dalga boyları gözle görülen ışığa yakın kızıl ötesi dalgaları ve kırmızı laser dalgası kullanılan uzaklık ölçme aletleri elektro-optik uzaklık ölçerler olarak adlandırılır. Bu aletler, uzaklık ölçme aletlerinin çoğunluğunu oluştururlar (Ek.1) .

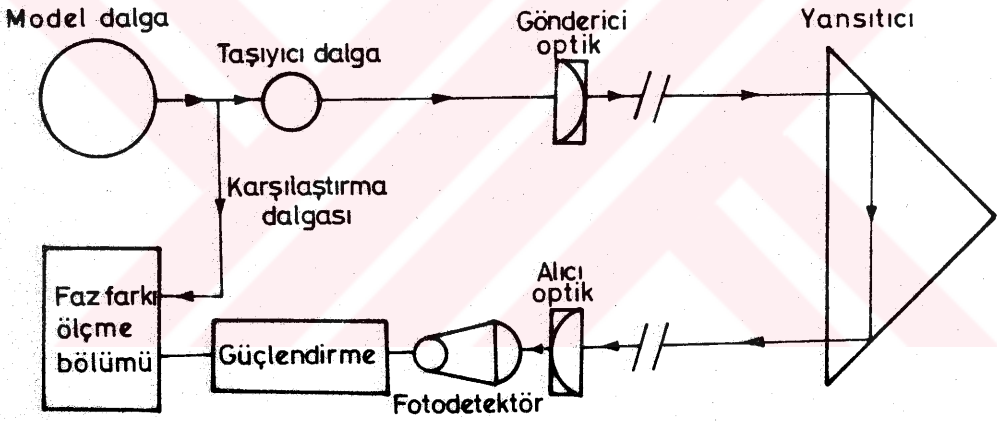
1.2 Elektro-optik uzaklık ölçerlerin çalışma ilkeleri :

Bir elektro-optik uzaklık ölçme sistemi iki parçadan oluşur :

- 1- Ana alet (ölçülecek kenarın bir ucuna merkezlenir)
- 2- Yansıtıcı (ölçülecek kenarın diğer ucuna merkezlenir)

Ana alet, ölçme işlemi için gerekli taşıyıcı dalgayı ve model dalgaları üretir. Model dalgaların herbirini genlik modülasyonu ile taşıyıcı dalgaya bindirir. Oluşan birleşik ölçme dalgası gönderici optik sistemle yansıtıcıya yönlendirilir. Yansıtıcının yansıttığı birleşik ölçme dalgası alıcı

optik sistemle alınır ve fotodetektöre düşürülür. Fotodetektör, üzerine düşen dalganın model dalga bileşeninin elektriksel benzeri elektrik akımı oluşturur. Güçlendirilen bu akım ile aletin ürettiği model dalganın akımı arasındaki faz farkı ölçülür (Şekil:1.1). Bu işlem her model dalga için ayrı ayrı yapılır.



Şekil:1.1 Elektro-optik uzaklık ölçerlerin genel çalışma şeması

Taşıyıcı dalgalar :

Taşıyıcı dalgalar, uzaklık ölçme aletlerinin niteliğini ve ölçme uzaklığını belirler. Elektro-optik uzaklık ölçerlerde kullanılan taşıyıcı dalgalar, yansıma, kırılma, girişim olayları gibi optik özellikler gösterirler ve geometrik optik

kuramlarına uygun olarak ayna ve mercek sistemleriyle çok iyi yönlendirilir, yansıtılırlar.

Bu dalgalar, elektro-optik uzaklık ölçerlerde değişik ışıma kaynaklarıyla üretilmektedir.

Gözle görünen ışık dalgaları, düşük gerilimli ampuller, cıva buharlı ampuller ve ksenon ışıma ampulleri ile elde edilmektedir. Bu dalgalar 0.55-0.56 μm dalga boyundadırlar. Normal olarak doğru ışın biçiminde yayılırlar. Bunlarda istenmeyen yansımalar azdır. Ancak, gündüz çalışmalarında optik sisteme giren istenmeyen ışımlar nedeniyle ölçme işleminin etkinliği azalmaktadır. Diğer taraftan, bu dalgalar çok iyi yönlendirilebilir. Işın demetinin çıkış açısı 1° den küçüktür ve bunun sonucu gönderici ve alıcı optiklerin çapları küçük olmaktadır [12], [13]. Taşıyıcı dalga olarak gözle görülen ışık dalgaları kullanılan aletlerin ölçme uzaklıkları; atmosferdeki yutulma nedeniyle, gece ve çok iyi atmosferik koşullarda büyük ölçme uzaklıklarına (Örneğin, Geodimetre 2A'nın ölçme uzaklığı 30 km dir) ulaşılmasına karşın sınırlıdır. Sis, duman veya yoğun ışık ölçme uzaklığını azaltır.

Dalga boyları gözle görülen ışığa yakın kızıl ötesi dalgalar ise genellikle galyum arsenid (Ga-As) ışıma diyotlarıyla

elde edilir. Bu dalgaların dalga boyları 0.875-0.93 μm arasında olanları elektro-optik uzaklık ölçerlerde kullanılmaktadır. Atmosferde, dalga boyları 0.72-0.94 μm olan dalgalar çok fazla yutulduklarından, kızıl ötesi taşıyıcı kullanılan elektro-optik uzaklık ölçerlerin ölçme uzaklıkları ortalama 2.5 km ve en çok 8 km dir (Ek.1). Yüksek ısı ve nemliliğin birleşmesiyle oluşan atmosferik koşullarda yutulma oranı artmaktadır. Bu dalgaların kaynaktan çıkış güçleride ölçme uzaklığını etkilemektedir. Ga-As ışımaya diyotları, yaydıkları kızıl ötesi dalganın genliği doğrudan ve kolayca modüle edildiğinden, aletlerin çoğunluğunda kullanılmaktadır.

Taşıyıcı dalga olarak kullanılan kırmızı laser dalgası 0,6328 μm dalga boyundadır. Bu dalga, Helyum-Neon (He-Ne) gaz karışımının yüksek gerilimle ışımaya zorlanmasıyla elde edilir. Gözle görülen kırmızı laser dalgası yüksek derecede tek renklilik ve çok iyi yöneltme özelliği gösterir. Bu dalga ile büyük ölçme uzaklıklarına ulaşılır (Örneğin, Geodolite 3G'nin ölçme uzaklığı 70 km dir) [13].

Model dalgalar (Modülasyon dalgaları) :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde model dalgalar, kuartz kristalleriyle denetlenen titreşim devreleriyle (rezonans

devresi) üretilmektedir. Bir kuartz kristalinin istenen rezonans titreşim frekansı, kristalin uygun boyutta ve kesilme açısında traşlanmasıyla bulunabilir. Bu biçimde elde edilen kristal, rezonans titreşim frekansına nominal olarak eşit frekansta bir titreşim devresine bağlanırsa, kristalin rezonans frekansında titreşen ve frekans değişimi çok az olan bir titreşim devresi elde edilir.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde genellikle 0.3m, 1m, 5m, 10m, 20m, 1000m, 2000m, dalga boyunda model dalgalar kullanılmaktadır. Bu dalgalar, dalga boylarının karşılığı frekansta salınan titreşim devreleriyle üretilmektedir.

Bir elektro-optik uzaklık ölçer genellikle birden fazla model dalga ile uzunluğu belirlemektedir. Bunlardan dalga boyu en küçük olanı "ince ölçek" olarak adlandırılır. İnce ölçeğin elde edilmesindeki ve değerlendirilmesindeki doğruluk, aletin iç doğruluğunu belirler [12], [13], [14].

Yansıtıcılar :

Elektro-optik uzaklık ölçme sistemlerinde birleşik ölçme dalgası, geldiği doğrultuya paralel olarak cam prizmalarla geriye ana alete yansıtılır. Gönderici ve alıcı optik eksenleri aynı olan aletlerde küp biçimli yansıtıcılar, gönderici ve

alıcı optik eksenleri ayrı olan aletlerde ise dikdörtgen biçimli yansıtıcılar kullanılır. Çok kısa boyların ölçülmesinde plastik yansıtıcılar (kedigözü) da kullanılabilir.

Elektro-optik uzaklık ölçerler, ölçülen tüm uzunluk için, alınan birleşik ölçme dalgasının yeterli güçte kalabileceği biçimde planlanırlar. Bu nedenle, büyüyen uzunluklarda yansıtıcı yüzeylerini uygun biçimde artırmak ve yansıtıcı prizmaların yönlendirilmesine özen göstermek gerekir [1], [14].

1.3 Elektro-optik uzaklık ölçmenin ilkeleri :

Jeodezide kullanılan bütün elektro-optik uzaklık ölçerler, taşıyıcı dalgaya genlik modülasyonu ile bindirilip yansıtıcıya gönderilen model dalga ile karşılaştırma dalgası ile yansıtıcıdan dönen model dalga arasındaki faz farkı ölçülerek uzunluğun belirlenmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Alınan model dalga gidip geldiği uzunluk ile orantılı bir faz farkına sahiptir. Bu faz farkı zaman veya uzunluk biriminde, model dalga boyunun bir kesri olarak belirlenebilir.

Faz farkı ölçme yöntemleri :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde faz farkı genellikle

iki yöntemle ölçülmektedir. Bunlar ;

- a) Analog faz farkı ölçme yöntemi
- b) Sayısal faz farkı ölçme yöntemi

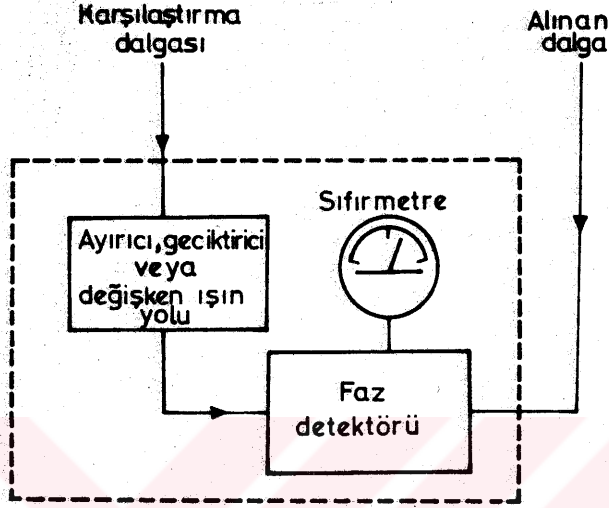
dir.

Analog faz farkı ölçme yöntemi :

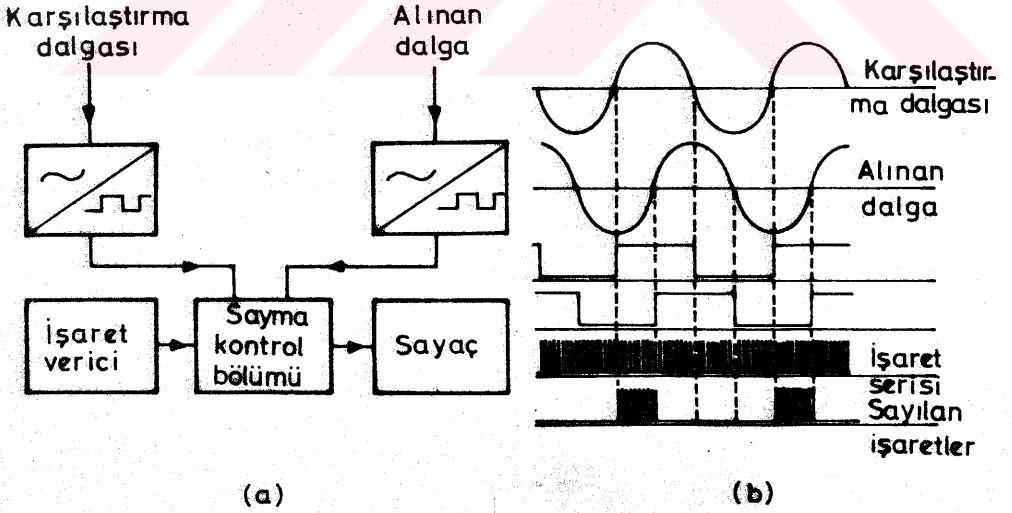
Gönderilen dalganın benzeri karşılaştırma dalgası ile alınan dalga bir faz detektöründe karşılaştırılır ve iki dalganın aynı faza getirilmesi, karşılaştırma dalgasının faz açısı kaydırılarak sağlanır. Kaydırma işlemi ayırıcı, geciktirici veya değişken ışın yolu gibi elektriksel veya optik düzenlerle yapılır. İki dalganın aynı fazda olup olmadığı bir sıfır metrede gözlenir. Kaydırılan faz açısı, karşılaştırma dalgası ile alınan dalga arasındaki faz farkına karşılıktır ve bir sistemle model dalganın dalga boyunun kesrine dönüştürülebilir (Şekil:1.2).

Sayısal faz farkı ölçme yöntemi :

Sinüsoidal karşılaştırma dalgası ile alınan dalga, dikdörtgen dalgaya dönüştürülür. Bu iki dalga arasındaki faz farkı iki dikdörtgen dalganın negatiften pozitive işaret değiştirdiği konumlarda, saymaya başlıyan ve duran bir sayaçtan işaret dizisinin sayılmasıyla bulunur. İşaret dizisindeki her işaret belirli bir uzunluğa karşılık gelir. Sayma işlemi çok sayıda yapılır ve



Şekil:1.2 Analog faz farkı ölçme yönteminin şeması [13]



Şekil:1.3 Sayısal faz farkı ölçme yöntemi

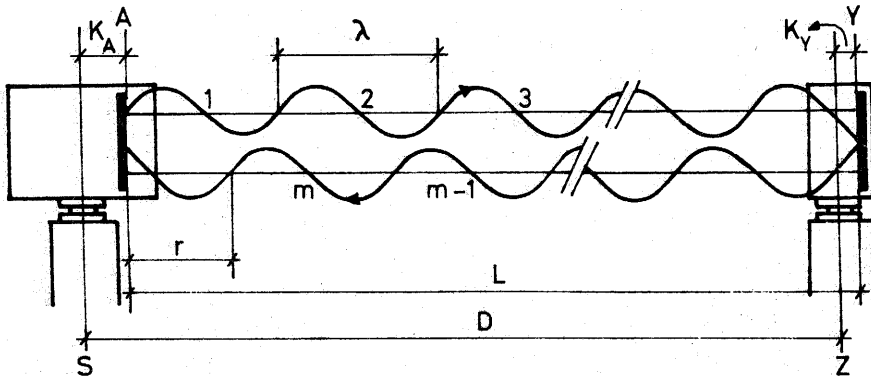
(a) Blok şeması, (b) Çalışma şeması [13]

aritmetik ortalaması alınarak doğruluk artırılır (Şekil:1.3).

Sayısal faz farkı ölçme yöntemi ile daha presizyonlu ölçme yapılmaktadır.Yöntem, ölçme işleminin otomatik biçime getirilmesi için daha uygundur.Bu nedenle yeni elektro-optik uzaklık ölçerlerin çoğunluğunda sayısal faz farkı ölçme yöntemi kullanılmaktadır [8],[13].

1.4 Elektro-optik uzaklık ölçerlerin ölçme ilkesi :

Ana aletin çalışma ilkesi geometrik olarak incelendiğinde yaklaşık olarak ölçülen uzunluğun iki katı,ölçülen uzunluk boyunca gidip gelen ince ölçeğin tamsayı katları ile kesrinin toplamına eşittir (Şekil:1.4).



Şekil:1.4 Elektro-optik uzaklık ölçerlerin ölçme şeması
[12],[13].

Şekil:1.4 de ;

- S, Ana aletin merkezleştirme doğrultusu
- Z, Yansıtıcının merkezleştirme doğrultusu
- A, Faz karşılaştırması için alet içindeki karşılaştırma düzlemi
- Y, Yansıtıcının yansıtma yüzeyi
- λ , İnce ölçeğin dalga boyu

dur.

Şekil:1.4 den;

$$2L = m\lambda + r$$

yazılır.Burada,m bir tamsayıdır.Faz farkı açısına karşılık gelen uzunluk;

$$r = \frac{\Delta\psi}{2\pi} \cdot \lambda \quad 1.1$$

eşitliğinden bulunur.Burada $\Delta\psi$,faz farkı açısıdır.Buradan;

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\psi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad 1.2$$

yazılabilir. İki nokta arasındaki uzunluk ;

$$D = L + K_A + K_Y$$

$$\text{dir. } \frac{\lambda}{2} = U, \quad \frac{\Delta\psi}{2\pi} = R, \quad K = K_A + K_Y \quad \text{kısaltmaları yapılırsa,}$$

$$D = m \cdot U + R \cdot U + K \quad 1.3$$

eşitliği bulunur.Burada ;

K, ana alet-yansıtıcı sisteminin sıfır noktası eki değeri

K_A , Ana aletin sıfır noktası eki değeri

K_Y , Yansıtıcının sıfır noktası eki değeri

dir.

(1.3) eşitliğinde ölçülen uzunluğun belirlenmesi için ana alette tamsayı katları ve kesirleri bulunan uzunluk (U), aletin birim uzunluğu olarak adlandırılır ve genellikle $\frac{\lambda}{2}$ ye eşittir. Faz farkı ölçme sistemi ile birim uzunluğun kesri (R.U) bulunur. Birim uzunluğun tamsayı katları (m.U) ise bir değişken veya birden fazla değişmez model dalga ile ölçme yapılarak çözülür.

Alet-yansıtıcı sisteminin sıfır noktası eki değeri yapımda belirlenir ve bu değer ya aletin elektriksel merkezi kaydırılarak alete yerleştirilir veya aletin özgül değeri olarak verilir [2], [3].

1.5 Elektro-optik uzaklık ölçerlerle boy ölçmesinin

matematik modeli :

1.5.1. Genel :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde elde edilen ölçme değeri, birleşik ölçme dalgasının hızı ve yörüngesinin biçimine bağlı olan meteorolojik düzeltmeler ve ölçülen boyun yeryüzündeki konumuna bağlı olan geometrik düzeltmeler ile düzeltilerek

hesap yüzeyine indirgenir. Hesap yüzeyi elipsoid alınırsa, elipsoidal uzunluk;

$$S = L + K + K' + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 \quad 1.4$$

ölçü değeri Meteorolojik Geometrik
 düzeltmeler düzeltmeler

eşitliği ile gösterilebilir. Burada,

K' , Hız düzeltmesi

K_1 , Işın yolu eğriligi düzeltmesi

K_2 , Eğim düzeltmesi

K_3 , Deniz yüzeyine indirgeme düzeltmesi

K_4 , Yeryüzü eğriligi düzeltmesi

K_5 , Elipsoid yüzeyine indirgeme düzeltmesi

dir.

1.5.2. Meteorolojik düzeltmeler :

1^o) Hız düzeltmesi :

Bir ortam içinde yayılan elektromagnetik dalgaların dalga boyu ;

$$\lambda = \frac{C_0}{n.f} \quad 1.5$$

eşitliğiyle belirlenir. Burada,

C_0 , ışığın boşluktaki hızı

n , ortamın kırılma indisi

f , dalganın frekansı

dir.

Ortaman kırılma indisi, elektromagnetik dalganın frekansına ve ortamın atmosferik koşullarına bağlıdır. Ortaman kırılma indisi CAUCHY ye göre ;

$$n-1 = A + B\lambda_0^{-2} + C\lambda_0^{-4} \quad 1.6$$

dır. [14], [15]. Burada; A,B,C, atmosferik koşullar için belirlenen katsayılar, λ ise μm biriminde boşluktaki dalga boyudur.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde,ölçme işleminde kullanılan birleşik ölçme dalgası bir dalga grubudur. Dalga grubu için grup kırılma indisi,

$$n_g = n - \lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda_0} \quad 1.7$$

dir.Burada; $(\frac{\partial n}{\partial \lambda_0})$, (1.6) eşitliğinden bulunur.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde kullanılan taşıyıcı dalgalar için grup kırılma indisi Helsinki (1960) IUGG XII Genel Kurulunda kabul edilen Barrel ve Sears eşitliği ile bulunabilir. Buna göre 0°C sıcaklık, 760 mmHg atmosferik basınç ve içinde %0.03 oranında CO_2 bulunan ortamda,ışığın ve dalga boyları ışığa yakın dalgaların grup kırılma indisi,

$$n_g - 1 = (287.604 + 4.8864 \lambda_0^{-2} + 0.068 \lambda_0^{-4}) 10^{-6} \quad 1.8$$

dır. Yukarıda belirlenen koşullardan farklı ortamlar için kırılma indisi,

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1) \cdot p}{273.16 + t} - \frac{1.5026 \cdot 10^{-5} \cdot e}{273.16 + t} \quad 1.9$$

dir. Burada t; °C sıcaklık, p; mmHg atmosferik basınç, e;

mmHg su buharının kısmi basıncıdır. (1.9) eşitliğinde

$0.359474(n_g - 1) = N \cdot 10^{-6}$ alınırsa elektro-optik uzaklık ölçer-

lerde kullanılan taşıyıcı dalgalar için N değerleri (1.9)

eşitliğinden de yararlanılarak bulunur (Çizelge:1).

Çizelge:1 Elektro-optik uzaklık ölçerlerde kullanılan taşı-

yıcı dalgalar için N değerleri

Taşıyıcı dalga adı	$\lambda_0 \mu m$	N
Civa buharlı lamba ışığı	0.5500	109.460
Standart lamba ışığı	0.5650	109.129
Kırmızı laser	0.6328	107.925
Kızıl ötesi	0.8750	105.720
" "	0.9000	105.590
" "	0.9050	105.570
" "	0.9100	105.540
" "	0.9200	105.496
" "	0.9300	105.450

Böylece (1.9) eşitliği, uygulamada kullanıldığı biçimde,

$$n_a = 1 + \frac{10^{-6} N_p}{273.16+t} - \frac{1.5026 \cdot 10^{-5} e}{273.16+t} \quad 1.10$$

olur.

(1.5) eşitliğinden, (1.3) eşitliğindeki (U) değerinin ortamın kırılma indisine bağlı olduğu görülmektedir.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde, model dalgaların dalga boyları ve buna karşılık gelen model dalga frekansları, alet için belirlenen kırılma indisine göre (1.5) eşitliğinden bulunur. Bu kırılma indisinin belirlenmesi için kabul edilmiş atmosferik koşullardan farklı ortamlar için, ölçülen uzunluklar düzeltilir. Böylece,

$$K'_{[mm]} = (n_o - n_a) \cdot D_{[mm]} \quad 1.11$$

olur. Burada n_o ; alet için belirlenen kırılma indisidir.

Alet için belirlenen kırılma indisi veya model dalga frekanslarının belirlenmesi için kabul edilen atmosferik koşullar aletin özgül değeri olarak verilmektedir.

Ölçme yapılan ortamın kırılma indisi, ölçme anında yapılan sıcaklık ve atmosferik basınç ölçmeleriyle (1.10) eşitliğinden hesaplanır.

Hız düzeltmesi, çok doğruluk gerektirmeyen çalışmalarda (1.11) eşitliğine uygun olarak düzenlenen çizelge veya grafiklerden bulunabilir.

2^o) Işın yolu eğriliği düzeltmesi :

Farklı kırılma indisli hava tabakaları içinden geçen ışık dalgası veya dalga boyu ışığa yakın dalgaların izledikleri yolun eğriliği ;

$$\frac{1}{\sigma} \sim - \frac{dn}{dh} \quad 1.12$$

eşitliğiyle bulunur [16], [18], [19]. Buradan σ ; ışın yolu eğrilik yarıçapı, $\frac{dn}{dh}$; kırılma indisi düşey gradientidir.

Işın yolu eğriliği düzeltmesinin hesabında ;

$$k = \frac{R_\alpha}{\sigma} \quad 1.13$$

oranından yararlanılır. Burada k; kırılma katsayısı veya oransal ışın yolu eğriliği, R_α ; yeryüzü eğrilik yarıçapıdır.

(1.12) ve (1.13) eşitliklerinden ,

$$k = - \frac{dn}{dh} \cdot R_\alpha \quad 1.14$$

bulunur. $R_\alpha = 6370$ km ve normal atmosferik koşullar için kabul edilen $t=15^\circ\text{C}$, $p=755$ mmHg, $e=10$ mmHg değerleri ile (1.10) eşitliğinden bulunacak $\frac{dn}{dh}$, (1.4) eşitliğinde yerine konursa:

$$k = 6,38 \frac{dt}{dh} - 2,43 \frac{dp}{dh} + 0,32 \frac{de}{dh} \quad 1.15$$

eşitliği elde edilir. Burada $\frac{dt}{dh}$; $^\circ\text{C/m}$, $\frac{dp}{dh}$; mmHg/m, $\frac{de}{dh}$; mmHg/m birimindedir. Katsayılar, aylık ortalamalardan hesaplanmış-

tır ve sıcaklık, basınç, su buharı basıncı değişimleri nedeniyle k da %4 ü geçmiyen hataya neden olurlar [18].

Sıcaklığın düşey gradientindeki değişim fazladır. Genellikle gündüz eksi, gece artı işaretlidir. Uygulamada, elektro-optik uzaklık ölçmelerinde ışın yolu eğriliği düzeltmesinin hesabı için ortalama değerler kullanılır.

Örneğin,

$$\frac{dt}{dh} = 0.01 \sim -0.0055 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

$$\frac{dp}{dh} = -0.0456 \left(\frac{P}{273.16+t} \right) \text{ mmHg/m}$$

$$\frac{de}{dh} = -1810^{-6} \text{ mmHg/m}$$

günlük ortalama değerler verilmektedir [16], [17], [18], [19].

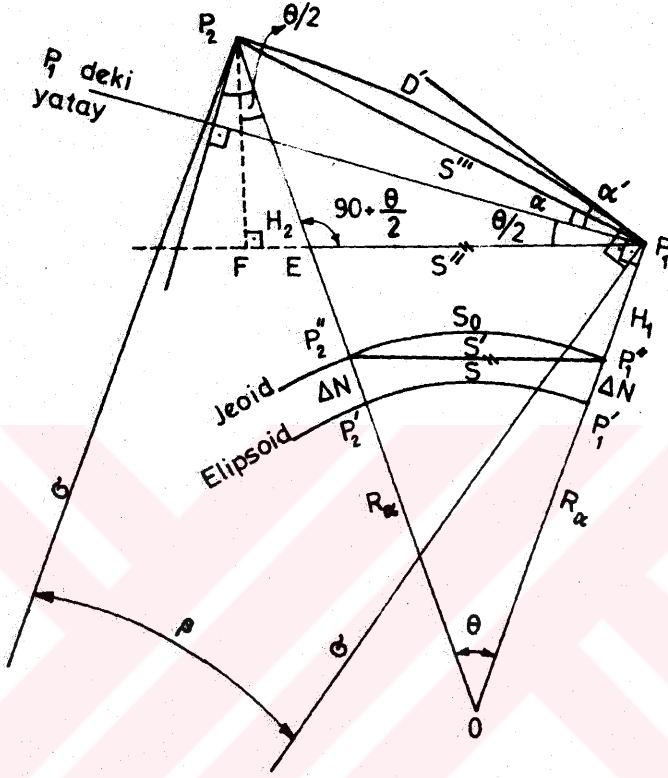
W.Höpcke (1966) değişik koşullarda, yerden 40-100m arasındaki yüksekliklerden geçen ışık ışınları için aşağıdaki kırılma katsayılarını vermektedir:

Tüm yılboyu bulutlu gece ve gündüz $k=0.2$

Açık gecelerde $k=0.3$

Bulutsuz günlerde $k=0.13$

Işın yolu eğrisi ile ölçülen noktalar arasını birleştiren doğru arasındaki uzunluk farkı aşağıdaki biçimde bulunabilir:



Şekil:1.5. Boy ölçmelerinde ölçme değeri ile jeoid ve elipsoid arasındaki geometrik ilişki

Şekil:1.5 den,

$$S''' = 2\sigma \sin \frac{\theta}{2} = 2\sigma \sin \frac{D'}{2\sigma}$$

ve seriye açılırsa;

$$S''' = D' - \frac{D'^3}{24\sigma^2} + \dots$$

1.16

elde edilir.

$$K_1 = S''' - D'$$

alınır ve σ yerine (1.13) eşitliğinden değeri konursa;

$$K_1 [\text{mm}] = -k^2 \frac{D'^3 [\text{km}]}{24 R_\alpha^2 [\text{Mm}]} \quad 1.17$$

bulunur.

1.5.3 Geometrik düzeltmeler:

1°) Eğim düzeltmesi :

a) Bir noktada düşey açı gözleendiğinde eğim düzeltmesi :

Şekil:1.5 de $P_1 P_2 E$ üçgeninden;

$$S'' = S''' \cos(\alpha + \theta) \sec(\theta/2)$$

yazılır. Burada α ; düzeltilmiş eğim açısıdır ve

$$\alpha = \alpha' - \beta/2, \quad \hat{\beta} = \frac{kD'}{R_\alpha}$$

eşitliklerinden bulunur. Burada α' ; ölçülen eğim açısıdır.

Böylece;

$$K_2 = S'' - S''' = -S''' [1 - \cos(\alpha + \theta) \cdot \sec(\theta/2)]$$

yazılabilir. Kısa boylar için,

$$\sec(\theta/2) \approx 1, \quad S''' \approx D'$$

alınırsa eğim düzeltmesi;

$$K_2 [\text{mm}] \approx -D' [\text{mm}] (1 - \cos(\alpha + \theta)) \quad 1.18$$

bulunur. Burada; $\hat{\theta} \approx D' / (R_\alpha + H_1)$ alınır.

b) Ölçülen boyun iki noktasının yükseklikleri biliniyorsa eğim düzeltmesi :

Şekil:1.5 de P_1P_2E üçgeninden;

$$S'' = [S'''^2 - \Delta h^2 \cos^2(\theta/2)]^{1/2} - \Delta h \sin(\theta/2)$$

yazılabilir. Eşitlik seriye açılır, $S''' \approx D'$, $\cos^2(\theta/2) \approx 1$, $\sin(\theta/2) \approx \theta/2$ alınırsa eğim düzeltmesi,

$$K_2 [\text{mm}] = \frac{(H_2 - H_1)^2 [\text{m}]}{2D' [\text{km}]} - \frac{(H_2 - H_1) [\text{m}] D' [\text{km}]}{2(R_\alpha + H_1) [\text{Mm}]} \quad 1.19$$

olur.

2^o) Deniz yüzeyine indirgeme düzeltmesi :

Bu düzeltme Şekil:1.5 den ;

$$K_3 = S' - S''$$

yazılabilir. Buradan,

$$K_3 [\text{mm}] = H_1 [\text{m}] \frac{S'' [\text{km}]}{R_\alpha [\text{Mm}]} \quad 1.20$$

olur. S'' , H_1 yüksekliğindeki giriş uzunluğudur.

3^o) Yeryüzü eğriliği düzeltmesi :

Bu düzeltme Şekil 1.5 den,

$$K_4 = S_0 - S'$$

yazılabilir. Düzeltme eşitliğinde kısa boylar için $S' \approx D'$

alınabilir. Böylece yeryüzü eğriliği düzeltmesi;

$$K_4 [\text{mm}] = \frac{D'^3 [\text{km}]}{24 R_\alpha^2 [\text{Mm}]} \quad 1.21$$

olur.

4°) Elipsoide indirgeme düzeltmesi

Şekil:1.5 den,

$$K_5 = \pm (S_o - S)$$

yazılabilir. Çalışma bölgesinde jeoid ondülasyonu bilinirse,

$$K_5 [\text{mm}] = \pm \Delta N [\text{m}] \frac{S_o [\text{km}]}{R_\alpha [\text{Mm}]} \quad 1.22$$

alınabilir. ΔN ; çalışma bölgesinde ortalama jeoid ondülasyonudur.

II. BÖLÜM

ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇMELERİNDE
HATALAR

2.1 Genel :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerle ölçülen uzunluklar çok sayıda düzenli ve düzensiz hatanın etkisindedir. Genel olarak uzunluk ölçme hatası ;

$$m_s = \pm (a^2 + b^2 s^2)^{1/2} \quad 2.1$$

eşitliğiyle verilmektedir. Burada m_s ; bir ölçmenin karesel ortalama hatası, a ; uzunluktan bağımsız hataların karesel ortalama hatası, b ; uzunluğa bağımlı hataların karesel ortalama hatasıdır. (2.1) eşitliği ölçüleri etkileyen tüm hatalar için ;

$$m_s^2 = \underbrace{m_g^2 + m_z^2 + m_K^2 + m_o^2 + m_{\Delta\psi}^2 + m_y^2}_{a^2} + s^2 \underbrace{(m_c^2 + m_n^2 + m_f^2)}_{b^2} \quad 2.2$$

biçiminde yazılabilir. Burada ;

m_g , Geometrik düzeltmelerin karesel ortalama hatası

m_z , Merkezlendirmenin karesel ortalama hatası

m_K , Sıfır noktası ekinin karesel ortalama hatası

m_o Okuma karesel ortalama hatası

$m_{\Delta\psi}$, Faz farkı ölçmenin uzunluğa etkisinin karesel ortalama hatası

m_y , Yöneltilmenin uzunluğa etkisinin karesel ortalama hatası

m_{c_o} , Boşluktaki ışık hızının karesel ortalama hatası

m_{na} , Kırılma indisinin karesel ortalama hatası

m_f , Model dalğanın frekansının karesel ortalama hatası

dır [8], [10].

Genel olarak;

$$m_1^2 = m_K^2 + m_{\Delta\psi}^2 + s^2 m_f^2 \quad 2.3$$

eşitliğiyle belirlenen karesel ortalama hata (m_1) "aletsel hata" olarak adlandırılır. Uzaklık ölçme aletlerinin aletsel hataları, yapımçı kuruluş tarafından aletin özgül değerleri içinde verilmektedir.

Kısa boyların ölçülmesinde, aletsel hatanın uzunluktan bağımsız bileşeninin büyüklüğü daha önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, aletsel hatanın uzunluktan bağımsız bileşeni daha kapsamlı olarak incelenmektedir.

Ölçülerin uzunluğa bağımlı karesel ortalama hataları genellikle oransal hata biçiminde hesaplanır ve 1.10^{-6} oranı karşılaştırma birimi olarak alınır. Bu çalışmada da karşılaştırma birimi 1.10^{-6} alınmaktadır.

2.2. Geometrik düzeltme hataları :

Geometrik düzeltmelerin hesabında yeryüzü eğrilik yarıçapı olarak, çalışma bölgesi için hesaplanan Gauss eğrilik yarıçapının ($R_{\alpha} = \sqrt{MN}$) alınması yeterlidir.

Geometrik düzeltmelerin hesabında noktaların yükseklik hataları etkilidir. (1.18) eşitliğinden θ ihmal edilerek

$$\frac{m_{K2}}{D'} \approx \pm \sin \frac{m_{\alpha}}{\rho} \quad 2.4$$

elde edilir. $\frac{m_{K2}}{D'} \leq 1.10^{-6}$ koşulu, düşey açı ölçme presizyonu için $\pm 10^{\text{cc}}$ alındığında, eğimi %5 den daha az kenarlar için sağlanabilir.

(1.19) eşitliğinden sağ taraftaki 2. terim atılıp, nokta yüksekliklerinin karesel ortalama hatalarının eşit alınması durumunda,

$$\frac{m_{K2}}{D'} \approx \pm 1.41 \frac{H_2 - H_1}{D'^2} m_H \quad 2.5$$

elde edilir. Burada m_H ; nokta yüksekliklerinin karesel ortalama hatasıdır. $\frac{m_{K2}}{D'} \leq 1.10^{-6}$ koşulunun sağlanması için,

örneğin; 2,5km ye kadar ve eğimi %5 den büyük boyların nokta yükseklikleri geometrik nivelmanla belirlenmelidir.

(1.20) eşitliğinden ;

$$\frac{m_{K_3}}{D'} = \pm \frac{1}{R_\alpha} m_H \quad 2.6$$

bulunur. $\frac{m_{K_3}}{D'} \leq 1.10^{-6}$ oransal presizyonu için noktaların denizden yükseklikleri $\pm 6m$ doğrulukla bilinmelidir.

Türkiye'nin güney bölgelerinde jeoid ile elipsoid arasındaki yükseklik farkı 25m ye ulaşmaktadır [20].

(1.23) eşitliğinde ; $R_\alpha = 6370km$, $S_o = 1km$, $\Delta N = 25m$ alınırsa ; $K_3 = 3.9mm$ olur. Bu bölgede, elipsoide indirgeme düzeltmesi dikkate alınmadığında ölçülen boylar $3,9.10^{-6}$ oranında hatalı olacaktır.

2.3 Merkezlendirme hatası :

Noktaların belirlenmesi, ana alet ve ya sıtıcının merkezlendirilmesi ile bunların karşılaştırma ve yansıtma düzlemlerinin dış merkezliği nedeniyle oluşan hatadır. Ana alet ve yansıtıcının bir kez merkezlendirilmesi durumunda, merkezlendirme karesel ortalama hatası ;

$$m_z = \pm 2mm$$

alınabilir [14], [21]. Bu hata bir uzunluğun birden fazla ölçül-

mesi durumunda, uzunluktan bağımsız düzensiz hata gibi düşünülebilir.

2.4 Yöneltilme hatası :

Ana aletten yansıtıcıya gönderilen dalga konisinin genişliği, belirli bir uzunluktan sonra yansıtıcının boyutlarını aşar. Bu durumda, yansıtıcıdan dalganın bir bölümü yansır. Faz farkı ölçmesinde yansıyan bölüm etkilidir.

Taşıyıcı dalga kaynağının yapısına bağlı olarak, birleşik ölçme dalgasında, model dalganın dalga alınları düzgün bir yüzey oluşturmaz. Bu nedenle, dalga konisinin farklı bölümleriyle yapılan faz farkı ölçmeleri arasında düzensizlikler oluşur. Ayrıca sıfır noktası ekinin değişimine de neden olan, fotodetektörde farklı duyarlılıkta alanların bulunması, optik düzenlerdeki yansımalar, alınan dalganın diyaframla gölgelenmesi, yöneltilmeye bağlı bir hata oluşturur [3], [25]. Bu hata uzunluktan bağımsız düzensiz hatadır.

Uygulamada, ölçmeler, alınan dalganın en büyük gücü ile yapılır. En büyük güç ise yöneltilmeye ve dalganın çıkış gücüne bağlıdır. Bu nedenle, ölçmeler arasında uyumun sağlanması için ana alet ve yansıtıcının karşılıklı çok iyi yöneltilmesi gerekmektedir. Yöneltilme hatası bunun dışında ;

çok sayıda bağımsız yöneltme ile ölçme yaparak, yansıtıcı yüzeyinin büyütülmesi ile, dalga gücünün en uygun olması ile (aletlerde galvanometre göstergesinin yeşil alanda olması durumu) azaltılabilir.

2.5 Boşluktaki ışık hızı hatası :

Elektromagnetik uzaklık ölçmenin temel büyüklüğü boşluktaki ışık hızıdır. Toronto (1957) IUGG XI. genel kurulunda benimsenen boşluktaki ışık hızı,

$$C_0 = 299792500 \text{ ms}^{-1} \pm 400 \text{ ms}^{-1}$$

alındığında oransal hata $\pm 1,3 \cdot 10^{-6}$ olur. Grenoble (1975)

IUGG XVI. genel kurulunda benimsenen boşluktaki ışık hızı,

$$C_0 = 299792458 \text{ ms}^{-1} \pm 1.2 \text{ ms}^{-1}$$

alındığında oransal hata $\pm 4 \cdot 10^{-9}$ olur. Elektro-optik uzaklık ölçmelerinde boşluktaki ışık hızının hatası $\pm 0.3 \cdot 10^{-6}$ alınır [19], [22].

2.6 Kırılma indisi hatası :

(1.10) eşitliğiyle bulunan kırılma indisinin oransal hatası ;

$$t = -40 \dots +50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 400 \dots 800 \text{ mmHg}$$

değerleri için $2 \cdot 10^{-7}$ den daha küçüktür [15].

Kırılma indisi hatası çoğunlukla; sıcaklık ve basınç ölçmelerinde kullanılan aletlerdeki hatalar, sıcaklık ve basınç ölçmelerinin yapıldığı yerlerin hatalı olması, sıcaklık ve basınç üzerinde yer radyasyonunun ters etkileri ve sıcaklık ve basınç düşey gradientinin günlük değişimleri nedeniyle oluşur.

Sıcaklık ve basınç ölçmelerinde kullanılan aletlerdeki hataların kırılma indisine etkileri, belirli aralıklarla bilinen bir standarda göre denetlenen ve düzenlenen kaliteli aletlerle azaltılabilir.

Sıcaklık ölçmeleri; yer radyasyonunun etkisini azaltmak için, yerden 1.8-3.0 m yüksekliklerde, ısı ve ışık yansımalarından sakınılarak ve ayrıca basınç ölçmeleri; gölgede, rüzgârdan az etkilenecek biçimde yapılmalıdır. Çok durgun havalarda ölçme yapılmamalıdır [1], [14].

Yeryüzeyine yakın sıcaklık ölçmeleri, gerçek sıcaklığın tam değerini vermemektedir. Bu nedenle, eğer ölçme dalgası farklı yüksekliklerden geçiyorsa, ölçülen boyun uç noktalarında yapılan sıcaklık ve basınç ölçmeleri ile hesaplanan ortamın ortalama kırılma indisinde model hatası oluşur.

Düz yerlerde model hatası azalır [1], [14], [23].

Sıcaklık ve basınç ölçmelerinin karesel ortalama hataları Çizelge:2.1 de görülmektedir [19].

Çizelge:2.1 Farklı atmosferik koşullarda sıcaklık ve basınç ölçmelerinin karesel ortalama hataları

Atmosferik Koşul Büyüklik	Uygun	Normal	Uygun Olmayan
Sıcaklık m_t	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Basınç m_p	$\pm 0.7\text{mmHg}$	$\pm 0.7\text{mmHg}$	$\pm 1.5\text{mmHg}$

(1.10) eşitliğinden kırılma indisinin karesel ortalama

hatası ;

$$m_{n_a} = \pm (a^2 m_t^2 + b^2 m_t^2 + c^2 m_p^2)^{1/2} \quad 2.7$$

yazılabilir. Burada m_t ; kuru sıcaklık ölçmelerinin karesel ortalama hatası, m_t ; ıslak sıcaklık ölçmelerinin karesel ortalama hatası, m_p ; basınç ölçmelerinin karesel ortalama hatasıdır. $m_t \approx m_t$ alınabilir. Sıcaklık ve basınç ölçmelerinin Çizelge:2.1 deki karesel ortalama hataları dikkate alınır-
sa, (2.7) eşitliğiyle hesaplanan kırılma indisinin karesel ortalama hatası Çizelge:2.2 de görülmektedir.

Çizelge:2.2 den, kırılma indisi hatasını kuru sıcaklık değerinin etkilediği ve normal atmosferik koşullarda

($p=760\text{mmHg}$, $t=20^{\circ}\text{C}$, $t'=15^{\circ}\text{C}$, $m_t=\pm 1^{\circ}\text{C}$, $m_p=\pm 0.7\text{mmHg}$) kırılma indisinin karesel ortalama hatasının $\pm 1.10^{-6}$ dan daha küçük olmayacağı sonucu çıkar.

Kırılma indisi hatası uzunluğa bağımlı, düzensiz hatadır.

Farklı atmosferik koşullarda yapılan ölçmeler ile kırılma indisi hatası azaltılabilir.

Çizelge:2.2 Değişen taşıyıcı dalga boylarına göre farklı atmosferik koşullarda kırılma indisinin karesel ortalama hatası

Taşıyıcı dalga (dalga bo- yu μm)	Normal Atmosferik Koşullar				Uygun Olmayan Atmosferik Koşullar							
	$p=760\text{mmHg}$				$p=780\text{mmHg}$				$p=450\text{mmHg}$			
	$t=20^{\circ}\text{C}$				$t=-30^{\circ}\text{C}$				$t=10^{\circ}\text{C}$			
	$t'=15^{\circ}\text{C}$				$t'=-30^{\circ}\text{C}$				$t'=0^{\circ}\text{C}$			
	a. 10^6	b. 10^6	c. 10^6	$\pm m_{n_a}$ 10^6	a. 10^6	b. 10^6	c. 10^6	$\pm m_{n_a}$ 10^6	a. 10^6	b. 10^6	c. 10^6	$\pm m_{n_a}$ 10^6
Işık(0.565)	0.97	0.05	0.37	1.01	1.44	0.03	0.45	2.96	0.61	0.02	0.38	1.38
Laser(0.6328)	0.95	0.05	0.37	0.99	1.42	0.03	0.44	2.92	0.61	0.02	0.38	1.38
Kızıl Ötesi (0.900)	0.93	0.05	0.37	0.97	1.39	0.03	0.43	2.85	0.59	0.02	0.37	1.30

2.7. Aletsel hatalar :

2.7.1. Sıfır noktası eki hatası :

Yapımda belirlenen ana alet-yansıtıcı sisteminin sıfır noktası eki;

- a- Karşılaştırma dalgası ile alınan dalga'nın genliklerinin eşit olmaması
- b- Gerilim ve akım değişimleriyle aletin yapı elemanlarının değişkenlerinin değişmesi ve bunların ölçme anında sıcaklığa bağımlılıklarının giderilmemesi
- c- Genellikle galyum-arsenid diyodlarda oluşan düzensiz ışı-malar
- d- Alıcı optik sistemin simetrik olmaması nedeniyle fotodetek-töre yönlendirilen ışınların eğik olması ve simetrik olmama-sıyla oluşan gecikmeler
- e- Fotodetektörden sonraki yüksek kazançlı yükselteçlerdeki gecikmeler

f- Yansıtıcının değiştirilmesi

nedenleriyle değişmektedir [3], [14], [23].

Sıfır noktası ekinin değişmesinin genellikle uzunluktan bağımsız düzenli bir hata oluşturduğu kabul edilmesine

karşın [2], [3], [4], [5], [9], [10], [14], [23], yukarıdaki etkenler göz önüne alındığında, [6], [11], [24] de açıklandığı gibi uzunluğa bağımlılığın incelenmesi gerekmektedir.

Ana alet-yansıtıcı sisteminin sıfır noktası eki veya değişimi bölüm:III de açıklanan yöntemlerle bulunabilir. Bulunan değere uygun olarak ya aletin elektriksel merkezi kaydırılır ya da ölçmeler düzeltilir.

2.7.2. Okuma hatası ve faz farkı ölçme hatası :

Faz farkı açısı ölçmenin karesel ortalama hatası birim uzunluğun $\pm 10^{-3}$ $\pm 10^{-4}$ ü kadardır [2], [3], [22]. Böylece bir aletin okuma (faz farkı açısını çözme) hatası ince ölçeğe bağlı olarak oluşur. Okuma hatası faz farkı ölçme hatasının düzensiz bileşenidir.

Okuma hatasından ayrı olarak bütün elektro-optik uzaklık ölçerlerde, karşılaştırma dalgası ile alınan dalga arasındaki bağlantılar, faz farkı ölçme sisteminden bağımsız olarak zayıf veya kuvvetli periyodik üst üste binme hatasına neden olurlar. Analog faz farkı ölçme yönteminde, üst üste binme hatasına faz kaydırıcısının neden olduğu hata da eklenir. Gerçek faz ölçmeleri ile birleşen bu hatalarla faz farkı ölçmeleri birim uzunluk içinde doğrusallıktan sapar [3], [8], [11], [23].

Çevrimli faz ölçme hatası olarak da adlandırılan faz farkı ölçme hatası; analog faz farkı ölçme sisteminde 180° (200°) lik, sayısal faz farkı ölçme sisteminde 360° (400°) lik devirler ile, birim uzunluk içinde sinüsoidal olarak değişir [3], [8].

Faz farkı ölçme hatasının [24] de uzunluğa bağımlı olabileceği belirtilmiştir. Ancak kısa boy ölçmelerinde bu hata uzunluktan bağımsız düzenli hata olarak incelenebilir [2], [3], [4], [5], [9], [10], [11], [14], [23].

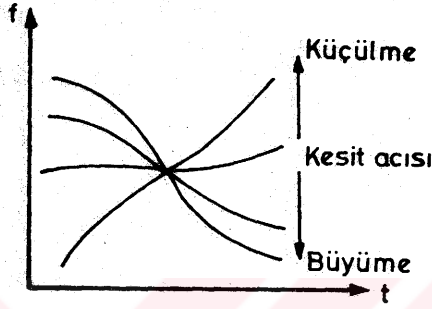
Faz farkı ölçme hatası; gönderici ve alıcı sistemlerin birbirinden yalıtılmaları ile, kısa birim uzunluk kullanılarak veya bölüm:III de açıklanan yöntemlerle saptanarak ölçmelerin düzeltilmesi ile giderilebilir.

2.7.3. Model dalgaların frekans hatası (ölçek hatası) :

Bölüm:1.2 de belirtildiği gibi, model dalgalar kuartz kristallerle denetlenen titreşim devreleri ile elde edilirler. Kristallerin frekansları; kesit, kesit açısı, sıcaklık ve zamana bağlı olarak değişirler.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerde kullanılan kristaller AT adlı kesite göre tıraş edilmiştir. Şekil:2.1 de görüldü-

ğü gibi uygun kesit açılarının seçimi ile sıcaklık değişiminin frekansa etkisi azaltılır.



Şekil:2.1 AT kesiti için farklı kesit açılarına göre sıcaklık-frekans eğrileri [13]

Kesit ve kesit açıları uygun seçilen kristallerin frekansları, -25°C den $+50^{\circ}\text{C}$ ye sıcaklık değişiminde $0.5-1.5 \cdot 10^{-5}$ oranında değişir. Kristallerin çevre sıcaklığı termostat ile denetlenmeyen elektro-optik uzaklık ölçerlerde yukarıdaki sıcaklık değişiminde frekans değişimi $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ oranı ile sınırlıdır. Kristallerin çevre sıcaklığı termostat ile denetlenen aletlerde ise, sıcaklık değişimine bağlı olan frekans değişimi $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ oranından daha azdır [3], [22], [23].

Kuartz kristallerinin frekansları zamanla da değişmektedir. Bu değişme kristalin traşlanmasıyla sonra büyük

oranlarda ve zamanla azalan oranlarda olmaktadır. Araştırmalarda, yeni kuartz kristallerinde ilk yıllarda 100 Hz e kadar frekans değişimleri saptanmıştır. Eskime olayı 5 yıl sonunda yavaşlar ve her yıl için frekans değişimi ± 5 Hz büyüklüğünde kalır [14], [23].

Kristallerin frekanslarının değişimi uzunluğa bağımlı düzenli ölçek hatası oluşturur.

Sıcaklık değişimi nedeniyle oluşan frekans değişimleri uzun zaman sabit kalan sıcaklıklarda yapılan ölçmeler ile azaltılabilir ve denetlenebilir. Yaşlanma nedeniyle oluşan frekans değişimleri ise bölüm:III de açıklanan kalibrasyon yöntemlerinden biri ile belirlenmelidir. Böylece bulunan frekans değişimine veya aletin ölçek katsayısına göre ölçmeler düzeltilmelidir [3], [4], [5], [14], [23].

III. BÖLÜM

KISA BOY ÖLÇMELERİ İÇİN ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇERLERİN ALETSEL HATALARININ BELİRLENMESİ VE KALİBRASYON

3.1 Genel :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerle ölçülen bir uzunluğun oransal presizyonu (2.1) eşitliğiyle belirlenen karesel ortalama hataya göre irdelendiğinde, kısa boylarda uzunluktan bağımsız hataların, uzun boylarda uzunluğa bağımlı hataların oransal presizyonu etkilediği görülmektedir (iki grup hatanın etkisinin eşit olduğu uzunluğa; aletin özgül ölçme uzaklığı denir). Bu nedenle elektro-optik uzaklık ölçmelerinin hatalarının araştırılması "uzun boy ölçmeleri" ve "kısa boy ölçmeleri" olarak iki grupta yapılmaktadır. Bu ayırım etkili hataların matematik modellerinin oluşturulmasında da gereklidir. Çünkü bir aletin, özellikle aletsel hatalarının tüm ölçme uzaklığı boyunca bir matematik modelle belirlenebilmesi gerek kuramsal olarak ve gerekse uygulama yönünden güçtür.

Bölüm:II de belirlenen düzensiz hataların etkileri, uygun ölçme ve hesaplama yöntemleri ile saptanabilir ve azaltılabilir. Burada önemli sorun, düzenli hataların belirlenmesi ve ölçülerin bu hatalardan arındırılmasıdır. Düzenli hataları aletsel hatalar oluşturmaktadır. Bu hatalar, ancak aletin parametreleri olarak da adlandırılan sıfır noktası eki, faz farkı ölçme fonksiyonu ve ince ölçeğin frekansının yeniden belirlenmesi ile saptanabilirler. Aletsel hataların veya alet parametrelerinin belirlenmesi ve aletin buna uygun olarak düzeltilmesi "kalibrasyon" olarak adlandırılır.

Ölçme aletlerinin yapımçı kuruluş tarafından verilen aletsel hataları ancak belirli koşullar için geçerlidir. Genel olarak, aletlerin kullanma talimatlarına uygun olarak yapılan ölçmeler verilen doğruluğu sağlamaktadır. Bununla beraber aletsel hataların Bölüm:II de belirlenen nedenler ile kullanıma ve zamana bağlı olarak değiştiği ve aletlerin her zaman verilen doğruluğu sağlamadığı değişik çalışmalarda saptanmıştır. Bu nedenle;

a- Aletin yapımçı kuruluş tarafından verilen doğrulukla çalışıp çalışmadığını

b- Düzenli aletsel hataların ölçme anındaki büyüklüklerini
 c- Öncül kenar ölçme presizyonunu belirlemek için aletler
 sık sık kalibre edilmelidirler [1],[2],[3],[5],[10],[11],
 [14],[23].

Ülke ölçmeleri, yüksek doğruluk gerektiren mühendislik
 ölçmeleri (kontrol ölçmeleri) ve yer kabuğu hareketlerinin
 jeodezik yöntemlerle saptanmasına yönelik ölçmelerde gere-
 ken doğruluk, aletlerin uygun yöntemlerle kalibrasyonları ve
 ölçülerin aletsel hataların etkilerinden arındırılması ile
 sağlanabilir [11],[23].

Elektro-optik uzaklık ölçerlerin aletsel hataları, ale-
 tin yapı elemanlarının tamamının kalitesine bağlıdır. Bu, ay-
 nı üretim serisinde üretilen aletler arasında bile önemli
 ölçüde değişebilir. Bu nedenle, kalibre edilmiş bir aletin
 presizyonundan serinin presizyonu veya diğer bir aletin
 presizyonu hakkında sonuç çıkarmak doğru değildir [11].

Elektro-optik uzaklık ölçerlerin kalibrasyonu labora-
 tuar ölçmeleri ile veya arazi ölçmeleri ile yapılabilir.

3.2. Laboratuvar ölçmeleri ile kalibrasyon :

3.2.1. Model dalgaların frekans kalibrasyonu :

Elektro-optik uzaklık ölçerlerin model dalgalarının
 frekansları, eğer alette frekans ölçme noktası varsa bu

noktaya doğrudan bir frekans sayıcı bağlanarak ölçülebilir. Frekans ölçme noktası bulunmayan aletlerin model dalgalarının frekanslarının ölçülmesi, ayrıntılı elektriksel ölçme düzeni ve alet bilgisi gerektirdiğinden güçtür.

Frekans sayıcıları ile doğrudan frekans ölçmelerinde $\pm 1.10^{-7}$ oransal frekans ölçme presizyonu elde edilebilir[5].

3.2.2. Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçmenin kalibrasyonu :

Ölçmeler ; bir ucunda birim uzunluk boyunca bölümlendirilmiş ölçme rayı bulunan, uzunluğu bilinen 80-100 metrelik bazda yapılmalıdır. Ölçme rayı üzerinde yansıtıcı ve diğer uçta alet kurulur. Aletin gönderici optik eksenini ile ölçme rayı aynı doğrultuda ve optik eksen ile yansıtıcı aynı yükseklikte olmalıdır. Yansıtıcının ölçme rayı üzerinde belirli aralıklarla kaydırılması ile ölçmeler yapılır. Faz farkı ölçmelerinin yöneltme hatasından etkilenmemesi için her seri ölçmede yöneltme bozulmamalıdır. Gidiş-dönüş ölçme serileri uygulanarak merkezleştirme ve ilk yöneltme hatalarının etkileri azaltılır.

Eğer kuramsal olarak, sıfır noktası ekinin uzunlukla değişmediği ve bilinen uzunluklar ile ölçülen uzunluklar arasındaki farkların sıfır noktası eki hatası, faz farkı

ölçme hatası ve diğer düzensiz hatalardan oluştuğu kabul edilirse ;

$$v_i = f(\Delta\psi) - (D_i - e_i) \quad 3.1$$

eşitliği yazılabilir. Burada ;

v_i , Her ölçünün düzeltilmesi

D_i , Ölçülen uzunluk

e_i , Bilinen uzunluk

tur. Eşitlikteki $f(\Delta\psi)$ fonksiyonu, ölçmelerdeki düzenli hataların bir fonksiyonudur. Faz farkı ölçmenin periyodik niteliği nedeniyle sıfır noktası eki ile birlikte bu fonksiyon, ölçülen faz farkı açısına bağlı olarak;

$$f(\Delta\psi) = K_{00} + K_{11}\cos\Delta\psi + K_{21}\cos2\Delta\psi + K_{12}\sin\Delta\psi + K_{22}\sin2\Delta\psi + \dots \quad 3.2$$

biçiminde yazılabilir [8], [11]. Burada $\Delta\psi$; (1.3) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanan faz farkı açısı ve $K_{00}, K_{11}, K_{21}, \dots$; fourier katsayılarıdır.

(3.1) eşitliğinin matris gösterimi;

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{\ell} \quad 3.3$$

dır. Burada n; ölçü sayısı alınır ;

$$\underline{v} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}, \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\Delta\psi_1 & \cos2\Delta\psi_1 & \sin\Delta\psi_1 & \sin2\Delta\psi_1 & \dots \\ 1 & \cos\Delta\psi_2 & \cos2\Delta\psi_2 & \sin\Delta\psi_2 & \sin2\Delta\psi_2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos\Delta\psi_n & \cos2\Delta\psi_n & \sin\Delta\psi_n & \sin2\Delta\psi_n & \dots \end{bmatrix}$$

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} K_{00} \\ K_{11} \\ K_{21} \\ K_{12} \\ K_{22} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \underline{\ell} = \begin{bmatrix} D_1 - e_1 \\ D_2 - e_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ D_n - e_n \end{bmatrix} \quad 3.4$$

olur. En küçük kareler yöntemine göre (3.3) eşitliğinin çözümü ile;

$$\underline{x} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} \quad 3.5$$

$$M_o = \pm [\underline{v}^T \underline{P} \underline{v} / (n-u)]^{1/2} \quad 3.6$$

$$\underline{Q}_{xx} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \quad 3.7$$

$$M_{x_i} = M_o (Q_{x_i x_i})^{1/2} \quad 3.8$$

bulunur. Böylece sıfır noktası eki (veya hatası) ile birlikte faz farkı ölçme fonksiyonu (veya hatası);

$$F_z = K_{00} + A_1 \sin(\Delta\psi + \rho_1) + A_2 \sin(2\Delta\psi + \rho_2) + \dots \quad 3.9$$

olarak elde edilir. Burada A_1, A_2, ρ_1, ρ_2 ;

$$A_1 = (K_{11}^2 + K_{12}^2)^{1/2}, \quad A_2 = (K_{21}^2 + K_{22}^2)^{1/2} \quad 3.10$$

$$\rho_1 = \arctan\left(\frac{K_{11}}{K_{12}}\right), \quad \rho_2 = \arctan\left(\frac{K_{21}}{K_{22}}\right)$$

eşitlikleri ile bulunur [15], [27]. Burada ;

K_{00} , Sıfır noktası eki veya düzeltmesi

A_1, A_2 , Faz farkı ölçme fonksiyonunun (veya hatasının) genlikleri

ρ_1, ρ_2 Faz farkı ölçme fonksiyonunun (veya hatasının) fazlarıdır.

3.3. Arazi ölçmeleri ile kalibrasyon :

Laboratuvar ölçmeleri ile, belirli koşullar altında ve çok kısa boylar için kalibrasyon sağlanır. Bölüm:II de belirtildiği gibi sıfır noktası eki ölçme koşullarına ve ölçülen uzunluğa, faz farkı ölçme ise ölçme koşullarına bağlıdır. Kuramsal olarak bu parametrelerin farklı ölçme koşullarında ve farklı ölçme uzaklıklarında belirlenmesi gerekir. Arazi ölçmeleri ile bu koşul sağlanabildiği gibi aynı zamanda frekans ölçme noktası bulunmayan aletlerin model dalga frekanslarının kalibrasyonu da yapılabilir ve aletin aletsel hatası bulunabilir. Bu nedenlerle arazi ölçmeleri ile kalibrasyon üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmış olup birçok yöntem önerilmektedir. Yöntemler, uygulanabilirlik ve belirlenen parametrelerin güvenilirliği açısından karşılaştırılmalıdır. Böylece aletlerin kalibrasyonu için en uygun yöntem ve belirlenen alet parametrelerinin büyüklüğü saptanabilir. Arazi ölçmeleri ile kalibrasyon aşağıda açıklanan biçimlerde yapılabilir.

3.3.1. Baz kenarı yöntemi :

Uzunluğu bilinen bazların elektro-optik uzaklık ölçerlerle ölçülmesi durumunda;

$$D-b = F_z + \alpha D + v$$

3.11

bağıntısı yazılabilir. Burada ;

D, İndirgenmiş ölçülen uzunluk

b, Bazın indirgenmiş uzunluğu

F_z , Ölçülen uzunluk için (3.9) eşitliğiyle hesaplanan

sıfır noktası ile faz farkı ölçme fonksiyonunun

değeri

α , Model dalga frekansının ölçme hatası

v, Ölçmenin düzeltilmesi

dır.

Ölçme sayısını arttırarak düzensiz hataların etkileri azaltılabilir. Faz farkı ölçme fonksiyonu veya hatası ve model dalga frekansının hatası diğer yöntemlerle belirlenirse sıfır noktası eki veya hatası;

$$K = \frac{\sum D_i}{n} - b$$

3.12

eşitliğiyle bulunur. Bir ölçmenin karesel ortalama hatası ise;

$$S_i = D_i - K$$

$$m_s = \pm \left(\frac{\sum (S_i - b)^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

3.13

olur. Burada;

n , Ölçme sayısı

D_i , İndirgenmiş i.ölçme

S_i , Sıfır noktası ekine göre düzeltilmiş ölçme

m_s , Bir ölçmenin karesel ortalama hatasıdır.

Bulunan sıfır noktası eki değeri, ölçülen uzunluk için geçerli olan yaklaşık değerdir.

Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçmenin kalibrasyonunun diğer yöntemlerle yapılması durumunda; (3.11) eşitliğinden bulunacak model dalga frekansının hatası bazın hatasının ve kırılma indisinin hatasının etkisindedir.

3.3.2. Kesit yöntemi :

Yöntem,arazide bir doğrultu üzerindeki noktalardan oluşan kontrol kenarında her noktadan diğer noktalara olan uzunlukların ölçülmesi ve uygun bir matematik modelle ölçmelerin değerlendirilmesini kapsar. Schwendener (1972) tarafından geliştirilen bu yöntem kısa boyların ölçülmesinde kullanılacak elektro-optik uzaklık ölçerlerin kalibrasyonu için benimsenmiştir [4], [5], [6], [10], [23] .

Ölçmelerin değerlendirilmesi sonucu alet parametreleri ile birlikte, bir ölçmenin karesel ortalama hatası da bulunur.

3.3.2.1. Kontrol kenarının tasarımı :

Kalibrasyon amacı ile oluşturulacak kontrol kenarlarının tasarımında; kalibre edilecek aletlerin ince ölçkeleri, belirlenecek parametreler, istenen doğruluk ve aletle bir çalışma boyunca yapılabilecek ölçme sayısı dikkate alınmalıdır.

Kontrol kenarı; yatay veya az eğimli, kenar boyunca eşit olarak aydınlanan ve uygun bitki örtüsündeki arazide seçilmelidir.

Kontrol kenarının toplam uzunluğu ölçülerin kırılma indisi hatasından etkilenmeyeceği büyüklükte olmalıdır. Bu nedenle toplam uzunluk 1 km den küçük alınır [2], [5], [6], [11], [23].

Kontrol kenarındaki ölçmelerin aynı atmosferik ve aletsel koşullarda yapılabilmesi için sürekli ve kısa süreli ölçme yapılmalıdır. Bu nedenle de yeteri kadar nokta veya ara uzaklık seçilmelidir.

Nokta sayısı veya ara uzaklık sayısı belirlenen bir kontrol kenarında, ara uzaklıkların uzunluklarının belirlenmesinde iki ayrı uygulama söz konusu olabilir.

a- Sıfır noktası eki ve model dalga frekansının kalibrasyonu için kontrol kenarı ara uzunluklarının belirlenmesi :

Kontrol kenarında sadece sıfır noktası ekinin ve model dalga frekansının kalibrasyonu yapılacak ise ölçülerin faz farkı ölçme hatasından etkilenmemesi gerekir.

Kuramsal olarak birim uzunluğun tam katlarında faz farkı ve hatası sıfır olmalıdır. Eğer kontrol kenarında ara uzunluklar birim uzunluğun tam katları alınır, ölçülecek tüm uzunluklar birim uzunluğun tam katları olacaktır. Bu amacı sağlayan bir kontrol kenarı, B.Witte ve H.Fröhlich (1978) tarafından belirtildiği biçimde tasarlanabilir.

Bir kontrol kenarında;

U, Kontrol edilecek aletin birim uzunluğu

A, Ölçmede karşılaşılabilecek en kısa kenar (U'nun tam katı)

C₀, Kontrol kenarının yaklaşık toplam uzunluğu (<1 km) ise;

$$B_o = \frac{1}{\binom{N-1}{2}} [C_o - (N-1)A] \quad 3.14$$

eşitliğinden B₀ bulunur. Burada N kontrol kenarındaki nokta sayısıdır. B₀, birim uzunluğun en yakın tam katına yuvarlatılarak B yardımcı büyüklüğü elde edilir. Buradan nokta sayısına bağlı olarak kontrol kenarının ara uzunlukları Çizelge:3.1 deki gibi bulunur.

Çizelge:3.1 [10].

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:3.1 deki ara uzunlukların kombinezonu ile oluşan uzunluklar, ölçülecek en kısa kenar ile kontrol kenarının toplam uzunluğu arasına düzgün dağılmakta ve en az tekrarlanmaktadır. Bu çizelgeye uygun olarak oluşturulan kontrol kenarındaki ölçmelerin değerlendirilmesi ile, yu-
karda belirlenen iki uzunluk arasındaki tüm uzunluklar için geçerli olabilecek bir sıfır noktası eki bulunabilir.

Kontrol kenarı ölçeklendirilirse, sıfır noktası eki ile birlikte model dalga frekansının kalibrasyonu da yapılabilir.

b- Sıfır noktası eki ile faz farkı ölçmenin ve model
dalga frekansının birlikte kalibrasyonu için kontrol
kenarının ara uzunluklarının belirlenmesi :

Kontrol kenarında faz farkı ölçmenin kalibrasyonu için, ara uzunluklar ve bunların kombinezonundan oluşan uzunluklarda, kalibre edilecek aletin birim uzunluğunun kesirlerinin dağılımı düzenli olmalıdır. Bu amaç için [2], [5], [11] de benzer ara uzunluklar kullanılmıştır. Farklı birim uzunluk ve nokta sayısına uygun bir kontrol kenarı J.M.Rüeger (1978) e göre aşağıdaki biçimde tasarlanabilir.

U, Kontrol edilecek aletin birim uzunluğu

A, Ölçmede karşılaşılabilecek en kısa kenar (U'nun tam katı)

C_o , Kontrol kenarının yaklaşık toplam uzunluğu (<1km)

alınır ise Çizelge:3.2 den B_o ve D yardımcı büyüklükleri bulunur. B_o değeri en yakın birim uzunluğun

Çizelge:3.2 [6]

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	$\frac{1}{16} U$	$\frac{1}{25} U$	$\frac{1}{36} U$	$\frac{1}{49} U$

katlarına yuvartilarak B yardımcı büyüklüğü bulunur ve kontrol kenarının ara uzunlukları Çizelge:3.3 den hesaplanır.

Çizelge:3.3 [6]

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	$4A+6B+16D$	$5A+10B+25D$	$6A+15B+36D$	$7A+21B+49D$

Ara uzunlukların kombinezonunda aynı uzunlukların tekrardan sakınmak için $B \neq A$ alınmalıdır.

Çizelge:3.3 e uygun olarak oluşturulan kontrol kenarında, ölçülecek uzunluklar büyüklüğe göre sıralanırsa, uzunlukla birim uzunluğun kesirleri de büyümektedir. Böylece, kontrol kenarındaki ölçmelerin değerlendirilmesinde farklı bir yol izlenebilir. Ölçmeler; ara uzaklıklar bilinmeyen olarak alınıp en küçük kareler yöntemine göre dengelendiğinde, büyüklük sırasına göre dizilen ölçmeler ve dengelemeden sonra hesapla-

nan düzeltmeleri, bir uzunluk-düzeltilme sisteminde çizilirse, oluşan eğrinin kuramsal olarak sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonunu göstermesi gerekir. Büyüklük sırasına dizilen ölçülerin düzeltmelerinin lineer regresyonu ile sıfır noktası ekinin uzunluğa bağımlılığı araştırılabilir [6].

Çizelge:3.3 e uygun olarak oluşturulan kontrol kenarı ölçeklendirilirse model dalga frekanslarının kalibrasyonu da yapılabilir.

3.3.2.2. Kontrol kenarlarının ölçeklendirilmesi :

Model dalga frekanslarının kalibrasyonu için kontrol kenarındaki uzunluklar büyük bir doğrulukla bilinmelidir. Kontrol kenarlarının ölçeklendirilmesi için birkaç olanak vardır.

Kontrol kenarı klâsik baz ölçme yöntemleri ile ölçeklendirilebilir. Bu durumda, standart ölçme şeridinin tam katı uzunlukların ölçeklendirilmesi yapılabilir. Kısa boylarda bu yöntem ile $\pm 1.10^{-6}$ oransal presizyona ulaşmak zordur.

Kontrol kenarlarının ölçeklendirilmesi; yüksek presizyonla ölçme yapabilen interferometrelerle yapılabilir.

Bu aletler ile $\pm 1.10^{-6}$ dan daha iyi oransal presizyon

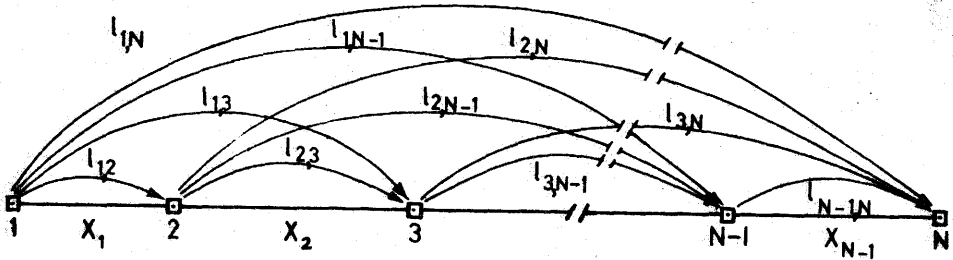
sağlanır [5].

Kontrol kenarlarının ölçeklendirilmesinde diğer bir olanak; frekans kalibrasyonu laboratuvarında yapılmış ve kristallerinin sıcaklığı termostatla denetlenen aletler ile kontrol kenarının ölçülmesidir. Ölçmeler sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme hatası dikkate alınarak dengelenirse, dengelenmiş uzunluklar kontrol kenarının ölçeği olarak alınabilir. Bu durumda kalibrasyonun presizyonu sınırlıdır [3].

3.3.2.3. Kontrol kenarındaki ölçmelerin değerlendirilmesinde uygulanacak matematik model :

a- Kontrol kenarının ölçeksiz olması durumunda uygulanacak matematik model :

Şekil:3.1 deki ölçme şemasına göre : kontrol kenarında



Şek:3.1 Kontrol kenarı ölçme şeması

ara uzaklıklar bilinmeyen olarak alınır ve sıfır noktası ekinin uzunlukla değişmediği kabul edilirse;

$$v_{ij} = X_i + X_{i+1} + \dots + X_{[j-i]} + K_{00} + K_{11} \cos \Delta \psi_{ij} + K_{21} \cos 2 \Delta \psi_{ij} \\ + K_{12} \sin \Delta \psi_{ij} + K_{22} \sin 2 \Delta \psi_{ij} - \ell_{ij} \quad \begin{matrix} (i = 1, N-1) \\ (j = 2, N) \end{matrix} \quad 3.15$$

genel düzeltme eşitliği yazılabilir. Burada;

i, Alet kurulan nokta

j, Yansıtıcı kurulan nokta

X, Bilinmeyen olarak ara uzunluk

K_{00} , Sıfır noktası eki

$K_{11}, K_{21}, K_{12}, K_{22}$, Fourier katsayıları

ℓ , Ölçülen uzunluk

N, Kontrol kenarındaki nokta sayısı

dır. (3.15) eşitliği matris gösterimi ile;

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{\ell} \quad 3.16$$

olur. Burada;

$$\underline{v} = \begin{bmatrix} v_{12} \\ v_{13} \\ \vdots \\ v_{23} \\ v_{24} \\ \vdots \\ v_{N-1,N} \end{bmatrix}, \underline{x} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{N-1} \\ K_{00} \\ K_{11} \\ K_{21} \\ K_{12} \\ K_{22} \end{bmatrix}, \underline{\ell} = \begin{bmatrix} \ell_{12} \\ \ell_{13} \\ \vdots \\ \ell_{23} \\ \ell_{24} \\ \vdots \\ \ell_{N-1,N} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 100 \dots 001 & \cos \Delta \psi_{12} & \cos 2 \Delta \psi_{12} & \sin \Delta \psi_{12} & \sin 2 \Delta \psi_{12} \\
 110 \dots 001 & \cos \Delta \psi_{13} & \cos 2 \Delta \psi_{13} & \sin \Delta \psi_{13} & \sin 2 \Delta \psi_{13} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 111 & 111 & \cos \Delta \psi_{1N} & \cos 2 \Delta \psi_{1N} & \sin \Delta \psi_{1N} & \sin 2 \Delta \psi_{1N} \\
 011 & 001 & \cos \Delta \psi_{23} & \cos 2 \Delta \psi_{23} & \sin \Delta \psi_{23} & \sin 2 \Delta \psi_{23} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 000 & 111 & \cos \Delta \psi_{N-2,N-1} & \cos 2 \Delta \psi_{N-2,N-1} & \sin \Delta \psi_{N-2,N-1} & \sin 2 \Delta \psi_{N-2,N-1} \\
 000 & 011 & \cos \Delta \psi_{N-1,N} & \cos 2 \Delta \psi_{N-1,N} & \sin \Delta \psi_{N-1,N} & \sin 2 \Delta \psi_{N-1,N}
 \end{bmatrix}$$

alınır. En küçük kareler yöntemine göre (3.16) eşitliği; (3.3) eşitliği gibi çözülebilir. Dengeleme sonucu bulunan Fourier katsayılarıyla (3.9) ve (3.10) eşitliklerinden faz farkı ölçme fonksiyonu bulunabilir.

Kontrol kenarında sadece sıfır noktası eki veya hatası kalibre edilecek ise faz farkı ölçme hatasının belirlenmesi için kullanılan bilinmeyenler ve katsayılar dikkate alınmamalıdır.

b- Kontrol kenarının ölçekli olması durumunda uygulanacak matematik model:

Kontrol kenarında bilinen uzunluklar ile ölçülen uzunluklar arasında, sıfır noktası ekinin uzunlukla değişmediği kabul edilerek;

$$v_{ij} = K_{00} + K_{11} \cos \Delta \psi_{ij} + K_{21} \cos 2 \Delta \psi_{ij} + K_{12} \sin \Delta \psi_{ij} + K_{22} \sin 2 \Delta \psi_{ij} + S_{ij} \alpha + S_{ij} - \ell_{ij} \quad 3.17$$

genel hata eşitliği yazılabilir. Burada;

α , Model dalga frekansı hatası (ölçek hatası)

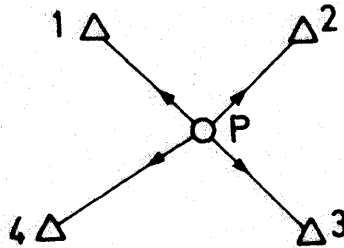
S , Bilinen uzunluk

tur. Ölçüler, (3.16) eşitliğine benzer biçimde dengelenir.

Ölçekli kontrol kenarlarında sıfır noktası eki ile ölçülen uzunluklar arasında fiziksel korelasyon da sapabilir.

3.3.3. Kestirme yöntemi :

Yöntem, koordinatları presizyonlu olarak bilinen noktalara yapılan ölçmelerin uygun bir matematik modelle değerlendirilmesini kapsar. Bu amaç için test ağı oluşturulmalıdır.



Şekil:3.2 Kestirme Yöntemi

Şekil:3.2 de P noktası ile koordinatları bilinen 1,2,3, ...N noktaları arasındaki uzaklık kalibre edilecek alet ile

ölçülürse, her ölçme için ;

$$\begin{aligned} & \ell_{pi} + v_{pi} + K_{oo} + K_{11} \cos \Delta \psi_{pi} + K_{21} \cos 2\Delta \psi_{pi} + K_{12} \sin \Delta \psi_{pi} \\ & + K_{22} \sin 2\Delta \psi_{pi} + \ell_{pi} \alpha = ((X_p - X_i)^2 + (Y_p - Y_i)^2)^{1/2} \quad (i=1, \dots, N) \end{aligned} \quad 3.18$$

yazılabilir. (3.18) eşitliğinin sağ tarafı Taylor serisine açılır ve

$$X_p = X_o + \Delta X, \quad Y_p = Y_o + \Delta Y, \quad S_{oi}^2 = (X_o - X_i)^2 + (Y_o - Y_i)^2$$

alınırsa;

$$\begin{aligned} v_{pi} = & P_i \Delta X + Q_i \Delta Y - K_{oo} - K_{11} \cos \Delta \psi_{pi} - K_{21} \cos 2\Delta \psi_{pi} \\ & - K_{12} \sin \Delta \psi_{pi} - K_{22} \sin 2\Delta \psi_{pi} - \ell_{pi} \alpha + S_{oi} - \ell_{pi} \end{aligned} \quad 3.19$$

hata eşitliği yazılabilir. Burada;

$$P_i = \frac{X_o - X_i}{S_{oi}}, \quad Q_i = \frac{Y_o - Y_i}{S_{oi}}$$

dir. (3.19) eşitliğinden tüm bilinmeyenlerin belirlenmesi için koordinatları bilinen en az 8 nokta gerekmektedir.

Bu durum yöntemin uygulanmasını güçleştirir. Faz farkı ölçmenin kalibrasyonu dikkate alınmazsa (3.19) eşitliği,

$$v_{pi} = P_i \Delta X + Q_i \Delta Y - K_{oo} - \ell_{pi} \alpha + S_{oi} - \ell_{pi} \quad 3.20$$

olur. Sıfır noktası eki ve model dalga frekansı hatasının belirlenmesi için koordinatları bilinen en az 4 nokta gerekmektedir. Ölçülerin dengelenmesi (3.16) ya benzer biçimde yapılabilir.

Kestirme yöntemi ile belirlenen parametrelerin doğruluğu bilinen koordinatların doğruluğuna bağlıdır. İyi dağılmış ve koordinatları presizyonlu olarak belirlenmiş noktalara alet parametrelerini doğru olarak belirleme olanağı vardır.

Kalibrasyon amacı ile oluşturulacak test ağı noktalarının sağlam zeminde ve noktalar arasındaki boyuna kesitin ölçme işlemini engellemeyecek biçimde olması gerekir. Ağda farklı uzunluklarda kenarların bulunması durumunda, farklı uzunluklar için geçerli olabilecek alet parametreleri saptanabilir.

Kestirme yöntemi, uzun boylar için en uygun kalibrasyon yöntemlerinden biridir [4].

IV. BÖLÜM

KALİBRASYON ÖLÇMELERİ VE HESAPLARI

4.1 Genel :

Bu bölümde; Bölüm:III de açıklanan kalibrasyon yöntemlerinden, laboratuvar ölçmeleri ile kalibrasyon ile kesit yöntemiyle kalibrasyon yöntemlerinin uygulanması, bu iki yöntemin karşılaştırılması ve ayrıca Bölüm:II de açıklanan okuma ve yöneltme hatalarının ölçmelerden hesaplanması amaçlanmaktadır.

Ölçmeler için; İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi ve Kartografya Laboratuvarında bulunan Wild (İsviçre) firmasının DI3 ve Keuffel and Esser (A.B.D) firmasının AutoRanger elektro-optik uzaklık ölçerleri seçilmiştir. Her iki alet de, kısa boyların ölçülmesi için ve elektronik takeometre olabilecek biçimde geliştirilen en yeni sistemlerdir. Aletlerin kristalleri termostatsızdır ve frekans ölçme noktaları yoktur.

AutoRanger için sıfır noktası eki değeri yapımcı kuruluş tarafından 0,001 m olarak verilmektedir. Her iki alet için faz farkı ölçme ile ilgili özgül değer verilmemektedir.Alet-

lerin özgül değerleri Çizelge:4.1 de görülmektedir.

Bu bölümde yapılan dengeleme hesapları, İ.T.Ü. Elektronik Hesap Bilimleri Enstitüsü bilgisayarında yapılmıştır. Çizelge:4.1 [28], [29]

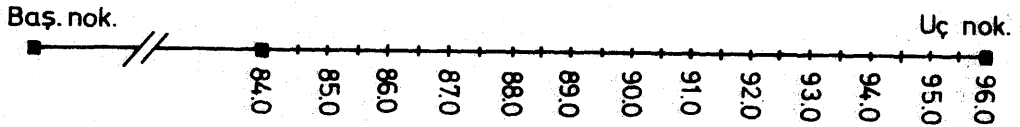
Alet Özgül değerler	DI3	AutoRanger
Ölçme uzaklığı:		
Tek prizma ile	400 m	1 000 m
Üç prizma ile	600 m	2 000 m
Dokuz prizma ile	900 m	
Aletsel hata	$\pm 5\text{mm} \pm 5 \cdot 10^{-6} \text{S}$	$\pm 5\text{mm} \pm 6 \cdot 10^{-6} \text{S}$
En küçük ölçme birimi	1 mm	1 mm
Faz farkı ölçme sistemi	Sayısal	Sayısal
Taşıyıcı dalga ve dalga boyu	Kızıl ötesi 0.875 μm	Kızıl ötesi 0.910 μm
Birim uzunluk	10 m	10 m
Sıfır noktası eki	-	+0.001 m
Alet içi kırılma indisi	1.000 282	1.000 310
Ölçme sıcaklığı	-25°C +50°C	-7°C +41°C
Enerji voltajı	12 V	12 V
Dolu batarya ile ölçme sayısı	500	1000
Aletin boyutları	$\frac{19 \times 11 \times 7}{20 \times 28 \times 9}$ cm	22x14x11 cm

4.2. Laboratuarda sıfır noktası eki ile faz farkı ölçmesinin kalibrasyon ölçmeleri ve hesapları :

4.2.1. Ölçme bazının oluşturulması :

Bölüm:3.2.2 de belirtilen ölçme rayı yerine aynı amaç için İ.T.Ü. merkez binasının arka bahçesinde beton platform üzerinde ölçme bazı tesis edilmiştir.

Ölçme bazının uzunluğu tam 96 metre olacak biçimde Jeodezi ve Kartogرافya Laboratuvarında bulunan 24 metrelik invar şeritler ile ölçülmüş ve işaretlenmiştir. Bazın 96. metresinden başlayarak başlangıç noktasına doğru olan doğrultu zemine çizilmiş, bunun üzerine kalibre edilen 2 m lik bir çelik metre ile 0,5 m aralıklarla 84. metreye kadar 24 nokta işaretlenerek (Şekil:4.1) baz tamamlanmıştır.



Şekil:4.1 Ölçme Bazı

Başlangıç noktası ile diğer noktalar arasındaki yükseklik farkları Wild NAK 2 kullanılarak, geometrik nivelmanla belirlenmiştir. En büyük yükseklik farkı 0,015 m bulunmuştur. (1.19) eşitliğinden $D'=84.0$ m için $K_2=0,0013$ mm bulunur.

Buna göre; alet ve yansıtıcı eşit yükseklikte kurulduğunda, ölçülen uzunluk yatay uzunluk olarak alınabilir.

4.2.2. Ölçme bazındaki ölçmelerin yapılması :

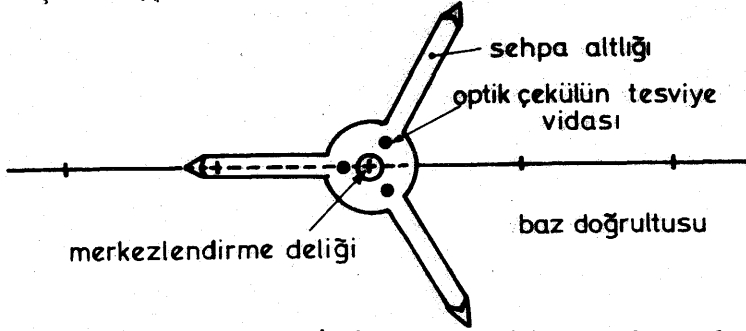
Gerilim değişimlerinden etkilenmemeleri için ölçmeler tam dolu 12 voltluk otomobil aküsü ile yapılmıştır.

Alet ve yansıtıcı optik çekülle merkezleştirilecek biçimde düzenlenmiştir. Arazi ölçmelerinde ortaya çıkacak ölçme uzaklıkları da düşünülerek, D13 için Wild GDR 11 üç prizmalı, AutoRanger için K.E. tek prizmalı yansıtıcılar seçilmiştir.

Her aletle iki seri ölçme yapılmıştır. Farklı günlerde yapılan her seri, bir alet kuruluşunda yapılan gidiş ve dönüş ölçmelerini kapsamaktadır. Ölçme yönü, gidiş ölçülerinde 84. metre noktasından 96. metre noktasına ve dönüş ölçülerinde ise ters doğrultuda alınmıştır.

Gidiş durumunda; başlangıç noktasına alet ve 84. metre noktasına da alet yüksekliğinde, sehpa altlığı üzerine yansıtıcı kurulmuştur. Alet ve yansıtıcı karşılıklı yönlendirildikten sonra ölçmeye başlanmış ve gidiş ölçmeleri bitinceye kadar aletin konumu bozulmamıştır. Yansıtıcı ise her noktaya sehpa altlığıyla zemin üzerinde ilk konumuna paralel kaydırıla-

rak kurulmuştur (Şekil:4.2) .



Şekil:4.2 Yansıtıcının üzerinde kaydırıldığı sehpa altlığının ve optik çekülün tesviye vidalarının ölçmedeki konumu

Her noktada yansıtıcının konumu alet dürbünüyle kontrol edilmiştir. Zemin yatay ve yüzeyi düzgün olduğundan, yansıtıcının yeniden merkezlendirilip tesviye edilmesinin başlangıç konumuna etkisi çok az olmuştur.

Dönüş ölçmelerine başlamadan önce, yansıtıcı 96 metrede iken yeniden karşılıklı yönlendirme yapılmıştır.

Her aletle, yansıtıcının bir noktaya kurulmasında 5 okuma ve iki seride toplam 500 okuma yapılmıştır. Ölçmelerin gidiş, dönüş ve serilerinin ortalamaları Çizelge:4.2 ve Çizelge: 4.3 de görülmektedir.

AutoRanger ile yapılan okumalar aletin verilen sıfır noktası eki değerine göre düzeltilmemiştir.

4.2.3. Ölçmelerin değerlendirilmesi :

4.2.3.1. Ölçmelerdeki düzensiz ve düzenli hataların saptanması :

Ölçme bazında yapılan ölçmelerdeki düzenli ve düzensiz hatalar varyans analizi ile bulunabilir [26],[27].

Gidiş ve dönüş ölçmelerinin herbiri aynı okuma ve yöneltme hatasının etkisinde olduğundan bir doğal küme olarak ve her kümede yansıtıcının bir kez kurulmasında yapılan 5 okuma da bir grup olarak alınmıştır.

Her grubun karesel ortalama hatası ;

$$\bar{D}_i = \frac{[D_{ij}]}{n} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, k \\ j = 1, \dots, n \end{matrix}$$

$$v_{ij} = D_{ij} - \bar{D}_i$$

alınarak,

$$m_{ii} = \pm \left(\frac{[vv]_i}{n-1} \right)^{1/2} \quad 4.1$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada i; grup numarası ve j; gruptaki ölçü numarasıdır. Bir gruptaki toplam ölçü sayısı $n=5$ ve gidiş veya dönüş ölçmelerindeki toplam grup sayısı $k=25$ dir.

Ölçme bazının bilinen uzunlukları ile ölçülen uzunluklardan da her grubun karesel ortalama hatası ;

Çizelge:4.2

ALET		: DI3				YANSITICI: GDR 11						
NO		: 41182				NO		:				
BİRİM UZUNLUK: 10m						FAZ ÖLÇME: SAYISAL						
BİLİNEN UZUNLUK e_i (m)		$d_i = \bar{D}_i - e_i$										
		I. ÖLÇME SERİSİ					II. ÖLÇME SERİSİ					SERİLER
		GİDİŞ		DÖNÜŞ		ORT.	GİDİŞ		DÖNÜŞ		ORT.	ORT.
		(mm)		(mm)		(mm)	(mm)		(mm)		(mm)	(mm)
		d_i	m_{ii}	d_i	m_{ii}		d_i	m_{ii}	d_i	m_{ii}		
84.000	3.0	1.0	2.6	0.9	2.8	-2.0	0.0	2.2	0.8	0.1	14.5	
84.500	4.8	0.8	3.4	0.5	4.1	-2.0	1.0	3.0	0.7	0.5	24.5	
85.000	3.2	0.8	4.6	0.5	3.9	-0.7	0.5	2.8	0.8	1.1	2.50	
85.500	4.2	0.4	3.8	0.4	4.0	-2.7	0.5	2.6	0.9	-0.1	1.95	
86.000	5.4	0.9	2.8	0.4	4.1	0.3	0.5	3.8	0.4	2.1	3.10	
86.500	3.1	1.3	3.8	1.1	3.5	-1.0	0.0	4.0	1.2	1.5	2.50	
87.000	2.8	0.8	5.0	0.7	3.9	0.0	0.9	4.2	1.1	2.1	3.00	
87.500	2.2	1.3	5.0	0.0	3.6	0.0	1.0	4.0	0.0	2.0	2.80	
88.000	3.8	0.8	2.4	0.5	3.1	0.0	0.0	4.0	0.7	2.0	2.55	
88.500	2.2	1.8	3.4	0.9	2.8	-1.7	0.5	2.0	0.7	0.2	1.50	
89.000	-0.3	1.3	4.0	0.7	1.9	-3.0	1.0	3.6	1.0	0.3	1.10	
89.500	0.6	1.1	3.6	0.5	2.1	-2.7	0.9	1.4	0.9	-0.7	0.70	
90.000	-0.2	0.8	2.2	0.8	1.0	-1.7	1.1	0.2	0.8	-0.8	0.10	
90.500	-0.2	1.5	2.2	0.4	1.0	-2.7	0.5	0.8	0.8	-1.0	0.00	
91.000	-0.6	1.5	1.4	1.1	0.4	-3.0	1.4	-0.4	1.5	-1.7	-0.65	
91.500	0.4	0.9	0.6	0.9	0.5	-4.3	1.1	-0.6	1.8	-2.5	-1.00	
92.000	-1.6	0.9	-1.4	1.1	-1.5	-4.3	1.1	-1.1	1.2	-2.7	-2.15	
92.500	-0.4	0.9	0.6	0.5	0.1	-5.7	0.9	-0.4	1.1	-3.1	-1.50	
93.000	-0.4	0.9	1.0	0.7	0.3	-4.0	0.7	-1.6	0.5	-2.8	-1.25	
93.500	-1.4	0.9	0.6	0.9	-0.4	-4.0	0.7	2.0	0.7	-2.0	-1.20	
94.000	0.6	0.5	1.6	0.5	1.1	-3.5	0.8	0.2	0.8	-1.7	-0.30	
94.500	2.3	0.8	3.0	1.0	2.7	-1.7	0.5	1.4	1.5	-0.1	1.30	
95.000	0.7	1.3	2.4	0.5	1.5	-2.3	0.9	0.4	1.1	-1.0	0.25	
95.500	0.4	0.5	3.4	0.5	1.9	-1.3	0.5	1.8	0.8	0.3	1.10	
96.000	2.0	1.2	3.4	1.1	2.7	-3.0	0.4	3.2	0.4	0.1	1.45	

Çizelge:4.3

ALET		: AUTO-RANGER					YANSITICI:K.E.1 Prizma				
NO		: 068 3135					NO		:		
BİRİM UZUNLUK: 10m						FAZ ÖLÇME:SAYISAL					
BİLİNEN UZUNLUK e_i	$d_i \quad \bar{D}_i - e_i$										
	I. ÖLÇME SERİSİ					II.ÖLÇME SERİSİ					SERİLER
	GİDİŞ		DÖNÜŞ		ORT.	GİDİŞ		DÖNÜŞ		ORT.	ORT.
	mm		mm		mm	mm		mm		mm	mm
	d_i	m_{ii}	d_i	m_{ii}		d_i	m_{ii}	d_i	m_{ii}		
84.000	0.6	0.5	-0.4	0.5	0.1	3.0	0.8	4.8	0.4	3.9	2.00
84.500	2.4	0.5	1.8	0.4	2.1	4.6	1.0	5.4	1.0	5.0	3.55
85.000	2.0	0.7	3.0	0.5	2.5	5.8	0.4	6.6	0.0	6.2	4.35
85.500	0.8	0.8	1.8	0.4	1.3	2.0	0.7	4.6	0.6	3.3	2.30
86.000	1.2	0.8	2.8	0.4	2.0	1.6	0.6	4.4	0.6	3.0	2.50
86.500	-0.2	0.4	2.8	0.4	1.3	1.8	0.4	3.4	0.6	2.6	1.95
87.000	0.4	0.5	1.8	1.1	1.1	0.8	0.4	2.4	0.6	1.6	1.35
87.500	-0.4	0.5	2.6	0.5	1.2	0.6	0.6	3.4	0.6	2.0	1.60
88.000	-0.2	0.4	3.6	1.1	1.7	0.6	0.6	2.8	0.4	1.7	1.70
88.500	-2.0	0.0	2.0	0.7	0.0	0.2	0.4	2.4	0.6	1.3	0.65
89.000	-0.8	0.4	1.8	0.4	0.5	1.0	0.0	3.0	0.7	2.0	1.25
89.500	0.4	0.5	1.0	0.0	0.7	1.2	0.4	3.2	0.4	2.2	1.45
90.000	-0.2	0.4	2.0	0.4	0.9	0.6	0.6	4.0	0.0	2.3	1.55
90.500	0.8	0.8	2.8	0.4	1.8	0.8	0.4	3.8	0.4	2.4	2.10
91.000	2.2	0.4	3.4	0.5	2.8	2.4	0.6	4.4	0.5	3.4	3.10
91.500	1.6	0.5	5.4	0.5	3.5	4.2	0.4	6.6	0.5	5.4	4.45
92.000	2.2	0.4	4.8	0.4	3.5	4.0	0.0	6.8	0.4	5.4	4.45
92.500	3.4	0.5	6.2	0.5	4.8	5.0	0.7	5.2	0.4	5.1	4.95
93.000	4.8	0.4	5.8	0.4	5.3	5.0	0.4	6.8	0.4	5.9	5.60
93.500	1.6	0.5	6.6	1.1	4.1	4.2	0.5	6.8	0.4	5.5	4.80
94.000	4.0	0.0	5.6	0.5	4.8	5.8	0.5	7.0	0.0	6.4	5.60
94.500	5.0	0.0	7.4	0.5	6.2	7.2	0.5	7.4	0.5	7.3	6.75
95.000	5.0	0.0	7.2	0.4	6.1	7.6	0.6	9.0	0.7	8.3	7.20
95.500	4.2	0.4	6.6	0.5	5.4	5.4	0.6	6.2	0.4	5.8	5.60
96.000	2.0	0.0	4.6	0.5	3.3	5.8	0.8	4.4	0.5	5.1	4.20

$$\epsilon_{ij} = D_{ij} - e_i$$

alınarak,

$$m_{ai} = \pm \left(\frac{[\epsilon\epsilon]_i}{n} \right)^{1/2} \quad 4.2$$

eşitliğinden bulunmuştur. [27] de (4.1) eşitliğiyle hesaplanan karesel ortalama hata grubun iç presizyonu, (4.2) eşitliğiyle hesaplanan karesel ortalama hata grubun dış presizyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama bu çalışmada da kullanılmaktadır.

Bir kümenin iç presizyonu;

$$m_i = \pm \left(\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k [vv]_i \right)^{1/2} \quad 4.3$$

eşitliğinden ve bir kümenin dış presizyonu;

$$m_a = \pm \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k [\epsilon\epsilon]_i \right)^{1/2} \quad 4.4$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada N; bir kümedeki toplam ölçme sayısıdır.

Toplam ölçmeler için iç presizyon;

$$m_{Ti} = \pm \left(\frac{[m_i^2]}{v} \right)^{1/2} \quad 4.5$$

ve toplam ölçmeler için dış presizyon;

$$m_{Ta} = \pm \left(\frac{[m_a^2]}{v} \right)^{1/2} \quad 4.6$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Burada v ; toplam küme sayısıdır.

(4.1) eşitliğinden hesaplanan grup iç presizyonları Çizelge:4.2 ve Çizelge:4.3 de m_{ii} sütunların da görülmektedir.

Her alet için (4.1) eşitliğinden hesaplanan grup iç presizyonlarının homojenliği;

$$B = \frac{[f_i] \ln([f_i m_i^2] / [f_i] - [f_i \ln m_i^2])}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\left[\frac{1}{f_i} \right] - \frac{1}{[f_i]} \right)} \quad 4.7$$

Bartlett test değişkeni ile irdelenmiştir. Burada $f_i = n-1$ den hesaplanan serbestlik derecesidir ve her grup için 4 dür. Test değişkeninin hesaplanmasında $m_{ii} = 0.0$ değerleri dikkate alınmamıştır. Hesaplanan B test büyüklüğü; bir χ^2 dağılımı gösterdiğinden, kabul edilebilirlik sınırı B_S , $S = 95$ güven ve $k-1$ serbestlik derecesine göre (DI3 için $k-1=94$, AutoRanger için $k-1=88$) χ^2 dağılım tablosundan alınmıştır [30]. Sonuçlar, Çizelge:4.4 de görülmektedir.

Çizelge:4.4

TEST BÜYÜKLÜĞÜ \ ALET	DI3	AUTO- RANGER
B	94.73	51.26
B_S	(117.40)	(110.80)

Çizelge:4.4 den $B_S > B$ olduğu görülmektedir. Bu sonuç, grupların iç presizyonlarının homogen dağıldığını göstermektedir.

Ölçmelerdeki düzenli hatalar; her küme için sıfır hipotezi,

$$H_0: \sigma_i = \sigma_a \quad 4.8$$

ve test değişkeni de,

$$F = \frac{m_a^2}{m_i^2} \quad (m_a > m_i) \quad 4.9$$

alınarak irdelenmiştir. Kabul edilebilirlik sınırı F_S , her küme için $f_1=125$, $f_2=100$, $S = \%95$ ve toplam için $f_1=500$, $f_2 = 400$, $S=\%95$ değerlerine karşılık F dağılım çizelgesinden [30], alınmıştır. Sonuçlar, Çizelge:4.5 de görülmektedir.

Çizelge:4.5

ALET	DI3				AUTO-RANGER			
ÖLÇME SERİSİ	m_i (mm) $\pm$	m_a (mm) $\pm$	$F = \frac{m_a^2}{m_i^2}$	F_S	m_i (mm) $\pm$	m_a (mm) $\pm$	$F = \frac{m_a^2}{m_i^2}$	F_S
I.GİDİŞ	1.05	2.64	6.31	1.35	0.48	2.62	29.79	1.35
I.DÖNÜŞ	0.74	3.10	17.53	1.35	0.57	4.31	57.20	1.35
II.GİDİŞ	0.96	2.61	7.40	1.35	0.57	4.03	50.06	1.35
II.DÖNÜŞ	0.80	2.80	12.29	1.35	0.51	5.27	106.78	1.35
TOPLAM	0.90	2.79	9.61	1.16	0.53	4.17	61.90	1.16

Ölçme işlemi dikkate alındığında; hesaplanan iç presizyonların aletin okuma presizyonunun bir gösterimi olduğu görülmektedir. Bu nedenle toplam iç presizyon, aletin bir ölçmesinin okuma karesel ortalama hatası olarak alınabilir.

Dış presizyonlar; okuma,merkezlendirme,başlangıç ve son noktalardeki yöneltme, sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme hatasının etkisini içermektedir.

Çizelge:4.5 den, H_0 hipotezinin geçersiz olduğu ve ölçmelerin düzenli hataları içerdiği görülmektedir.

4.2.3.2. Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme hatasının belirlenmesi :

Çizelge:4.2 ve Çizelge:4.3 deki ölçmelerin gidiş,dönüş ve serilerin ortalaması Bölüm:3.2.2. de belirtilen eşitliklerle en küçük kareler yöntemine göre,ağırlıklar $P=1$ alınarak dengelenmiştir. Eşitliklerde kullanılan faz farkı açıları (1.3) eşitliğinden elde edilen;

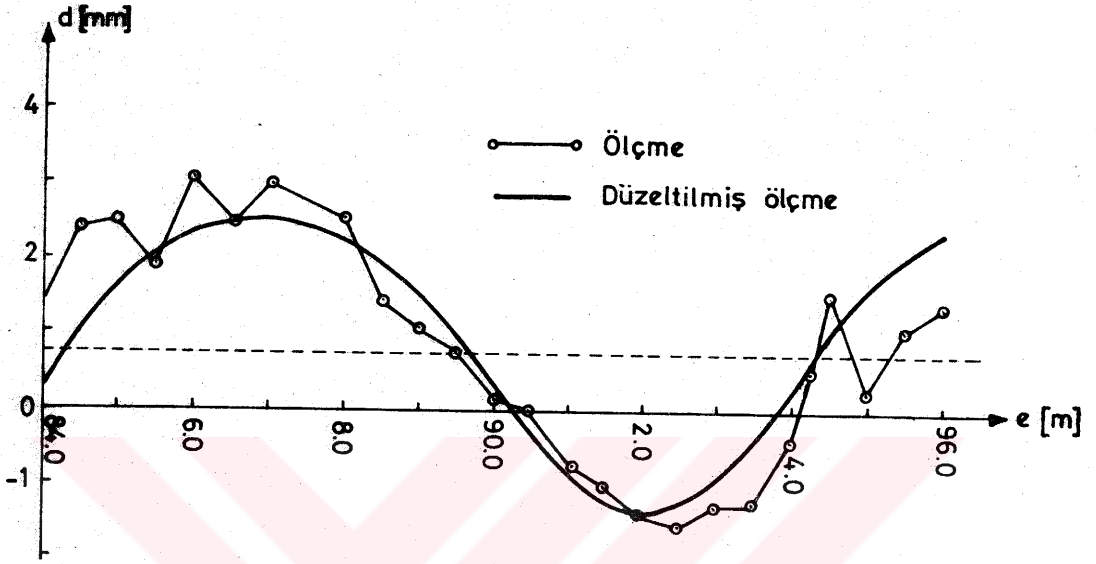
$$\Delta\psi = \frac{r'-K}{U} . 2\pi$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Burada r' ; aletle ölçülen uzunluk-taki birim uzunluğun kesridir. Dengelemeden bulunan ağırlık katsayıları matrisi

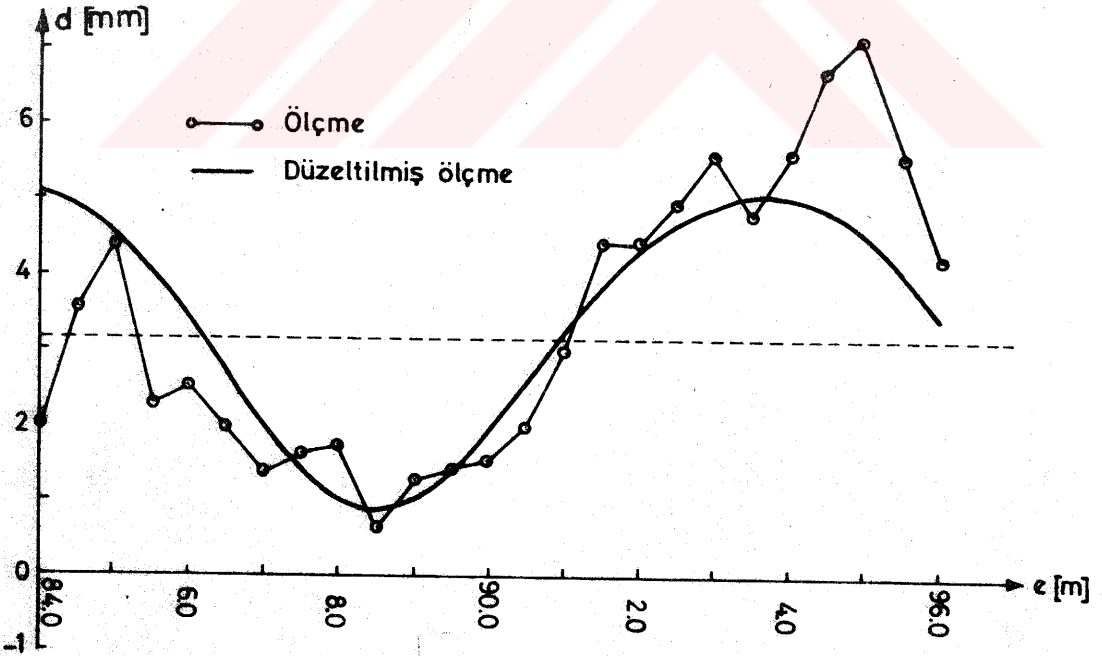
$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.01 & -0.01 & 0.00 & 0.00 \\ 0.01 & 0.08 & 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ -0.01 & 0.02 & 0.09 & 0.00 & 0.00 \\ 0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.09 & 0.01 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.01 & 0.08 \end{bmatrix}$$

bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge:4.6 da görülmektedir.

Şekil:4.3 ve Şekil:4.4 de Çizelge:4.3 de belirtilen ölçmelerin seriler ortalaması ve dengelemeden sonra düzeltilmiş ölçmeler görülmektedir.



Şekil:4.3 DI3 'ün faz farkı ölçme eğrisi



Şekil:4.4 Autoranger 'in faz farkı ölçme eğrisi

Dengeleme sonucu, ölçmelerdeki düzenli hatalar veya alet parametrelerinin değişimi (sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme) ile düzensiz hatalar (okuma ve merkezleştirme) birbirinden ayrılmaktadır.

Hesaplanan düzenli hata katsayılarının kabul edilebilirliği;

$$H_0: K_i = 0 \quad 4.10$$

sıfır hipotezi alınarak ve $S = 95$ güvenle irdelenmiştir. Sıfır hipotezi; $|K| > t_{\alpha} \cdot m_K$ olursa geçersizdir. Çizelge:4.6 dan, H_0 hipotezinin, faz farkı ölçme hatasının 180° periyodlu bileşenini belirleyen K_{21} ve K_{22} katsayıları için sağlanamadığı görülmektedir. Sayısal faz farkı ölçme sistemi ile ölçme yapan her iki aletin faz farkı ölçme hatasının sadece 360° periyodlu bileşeni etkili olmaktadır (Bölüm:2.7.2). Bu nedenle sayısal faz farkı ölçme sistemi ile çalışan bu iki alet için, sıfır noktası eki ile faz farkı ölçme hatasının belirlenmesinde (3.2) eşitliğinde genel olarak verilen dengeleyen periyodik fonksiyon, 180° periyodlu bileşeni dikkate alınmayarak,

$$f(\Delta\psi) = K_{00} + K_{11}\cos(\Delta\psi) + K_{12}\sin(\Delta\psi) \quad 4.11$$

alınabilir. Her aletle yapılan ölçmelerin seriler ortalaması

(4.11) eşitliğine uygun olarak en küçük kareler yöntemiyle dengelenmiştir. Dengelemeden, K_{00} ; sıfır noktası eki düzeltmesi olarak bulunur. Sonuçlar Çizelge:4.7 de görülmektedir.

Çizelge: 4.7

ALET	K_{00}	K_{11}	K_{12}	A_1	ρ_1	m_o	f
	$m_{K_{00}}$	$m_{K_{11}}$	$m_{K_{12}}$				
	$t_{S \cdot m_{K_{00}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{11}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{12}}}$				t_S
	mm	mm	mm	mm	g	mm	
DI3	-0.74	0.73	1.92	2.05	23.13	0.73	22
	± 0.15	± 0.21	± 0.22				
	± 0.26	± 0.36	± 0.39				1.717
AUTO-RANGER	-3.16	1.34	-1.65	2.13	-43.42	1.21	22
	± 0.24	± 0.34	± 0.36				
	± 0.41	± 0.58	± 0.62				1.717

Çizelge:4.7 den ve Şekil:4.3. , Şekil:4.4. den yararlanılarak, (3.9) eşitliğiyle verilen sıfır noktası ile birlikte faz farkı ölçme fonksiyonu:

$$\text{DI3 için } F_{z[\text{mm}]} = 0.74 - 2.05 \sin(\Delta\psi + 23.13^\circ) \quad 4.12$$

$$\text{Autoranger için } F_{z[\text{mm}]} = 3.16 + 2.13 \sin(\Delta\psi - 43.42^\circ) \quad 4.13$$

bulunmuştur. Buna göre $r'=5$ m veya $\Delta\psi=200^\circ$ için; DI3 ile ölçülen uzunluk, 1.47 mm ve Autoranger ile ölçülen uzunluk 4.50 mm büyük ölçülmektedir.

Faz farkı ölçme fonksiyonunun karesel ortalama hatası Tienstra kuralından;

DI3 için ± 0.22 mm

Autoranger için ± 0.35 mm

bulunmuştur.

4.3 Kontrol kenarlarında sıfır noktası eki ile faz farkı ölçmesinin kalibrasyon ölçmeleri ve hesapları :

4.3.1. Kontrol kenarlarının tasarımı ve oluşturulması :

Sıfır noktası eki ile faz farkı ölçmesinin kalibrasyonu amacı ile, Bölüm:3.3.2.1 de belirlenen iki farklı kontrol kenarının oluşturulması tasarlanmıştır. Tasarım büyüklükleri olarak;

$$U = 10m, A = 30m, C_o = 600m, N = 7$$

seçilmiştir. Bu değerler ile Çizelge 3.1 den I.kontrol kenarının, Çizelge:3.2 ve Çizelge:3.3 den II.kontrol kenarının ara uzunlukları hesaplanmıştır.

Her iki kontrol kenarı, hesaplanan ara uzunluklara uygun olarak, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü'nde birbirine paralel olacak biçimde ağaç kazıklarla zemine uygulanmıştır.

Noktalar arasındaki yükseklik farkları, Wild NAK2 kullanılarak geometrik nivelmanla belirlenmiştir.

4.3.2. Kontrol kenarlarında ölçmelerin yapılması ve indirgenmesi :

Kontrol kenarındaki ölçmeler, Bölüm:4.2 deki ölçmelerde kullanılan yansıtıcı ve optik çeküller ile yapılmıştır.

Ölçmelerin gerilim değişimlerinden etkilenmemesi için tam dolu otomobil aküsü kullanılmıştır.

1 numaralı noktaya alet ve 2 numaralı noktaya yansıtıcı kurularak ölçmeye başlanmıştır. Ölçme sırası 1-2,1-3, ...1-7,2-7,2-6,...2-3,3-4,... olacak biçimde düzenlenmiştir.

Her kenar, alet ve yansıtıcının bağımsız olarak karşılıklı yönlendirilmeleri ile 10 kez ölçülmüştür.

Alet ve yansıtıcının her kuruluşunda yükseklikleri çelik şerit metre ile ölçülmüştür.

Her kenarın ölçülmesi sırasında, alet kurulan noktada Assman psikrometresi ile ıslak sıcaklık,kuru sıcaklık ve aneroid barometre ile de atmosferik basınç ölçülmüştür.

Bir kontrol kenarındaki 21 kenarın ölçülmesi ortalama 4 saat sürmüştür. Ölçmeler boyunca günlük en büyük sıcaklık değişimi 2°C ve günlük en büyük atmosferik basınç değişimi 2 mmHg olmuştur.

Her kenarın ölçme değeri, 10 ölçünün aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.Ölçme sırasında yapılan ıslak sıcaklık,kuru sıcaklık ve atmosferik basınç ölçülerinin ortalamaları alınarak,her kenar için ortamın ortalama kırılma indisleri hesaplanmıştır. Kenarların ölçme değerleri,hesaplanan kırılma indislerine göre düzeltilmiş ve 1 numaralı

noktalardan geçen yatay düzleme indirgenmiştir.

Autoranger ölçüleri verilen sıfır noktası ekine göre düzeltilmemiştir.

I.Kontrol kenarının indirgenmiş ölçmeleri, Çizelge:4.8 ve Çizelge:4.9 da, II.Kontrol kenarının indirgenmiş ölçmeleri Çizelge:4.10 ve Çizelge:4.11 de görülmektedir.

4.3.3. Ölçmelerin değerlendirilmesi :

4.3.3.1. Okuma ve yöneltme hatasının hesaplanması :

Her aletle yapılan bir kontrol kenarı ölçmeleri bir küme olarak alınabilir. Bir kümede 21 grup ve her grupta 10 ölçme bulunmaktadır.

Bir grubun karesel ortalama hatası veya iç presizyonu, (4.1) eşitliğinden hesaplanmıştır. Sonuçlar,Çizelge:4.8, Çizelge:4.9, Çizelge:4.10, Çizelge:4.11 de (m_{ii}) satırlarında görülmektedir.

Bir kümenin iç presizyonu (m_i) da (4.3) eşitliğinden hesaplanmıştır.

Grupların iç presizyonlarının homojenliği (4.7) eşitliğine göre hesaplanan Bartlett test değişkeni ile test edilmiştir. Kabul edilebilirlik sınırı $B_S, S=\%95$ ve $k-1=20$ için χ^2 dağılım tablosundan alınmıştır [30].

Çizelge:4.8

ALET:DI3 NO :41 182 BİRİM UZUNLUK:10m		YANSITICI:GDR 11 NO : KIRILMA İNDİSİ:1.000282		TARİH:7/9/1979 SIFIR NOKTASI EKİ:0.0 FAZ FARKI ÖLÇME:SAYISAL		
ALET KURULAN NOKTALAR		YANSITICI KULLANILAN NOKTALAR				
	2	3	4	5	6	7
$D_i [m]$ 1 $\frac{m_{ii} [mm]}{m_i [mm]}$	60.036 ±1.3	160.024 ±1.0	300.078 ±1.2	420.061 ±1.8	499.959 ±2.1	540.133 ±1.7
	2	99.986 ±1.4	240.038 ±1.6	360.020 ±2.0	439.921 ±1.3	480.094 ±1.2
		3	140.054 ±1.7	260.036 ±0.7	339.935 ±1.4	380.106 ±1.5
			4	119.982 ±0.8	199.881 ±0.7	240.054 ±1.3
				5	79.898 ±1.1	120.070 ±1.1
					6	40.172 ±1.4

$m_i = \pm 1.4mm$

Çizelge:4.9

Çizelge:4.9

ALET:AUTORANGER NO: 068 3135 BİRİM UZUNLUK:10m		YANSITICI:K.E,Tek NO : KIRILMA İNDİSİ:1.000310		TARİH :9/9/1979 SIFIR NOKTASI EKİ: 1mm FAZ FARKI ÖLÇME:SAYISAL		
ALET KURULAN NOKTALAR	YANSITICI KULLANILAN NOKTALAR					
	2	3	4	5	6	7
$D_i [m]$ 1 $\frac{m_{ii} [mm]}{m_i}$	60.040 ±1.6	160.029 ±1.8	300.088 ±2.5	420.069 ±1.8	499.985 ±1.3	540.137 ±1.0
	2	99.987 ±1.8	240.041 ±1.3	360.022 ±1.5	439.920 ±1.2	480.090 ±1.9
		3	140.061 ±2.5	260.039 ±1.7	339.933 ±1.3	380.111 ±1.2
			4	119.987 ±2.1	199.878 ±1.4	240.052 ±2.7
				5	78.898 ±1.3	120.075 ±1.7
					6	40.177 ±1.1

$m_i = \pm 1.7mm$

Çizelge:4.10

ALET:DI3 NO : 41 182 BİRİM UZUNLUK:10m		YANSITICI:GDR11 NO : KIRILMA İNDİSİ:1.000282		TARİH: 8/9/1979 SIFIR NOKTASI EKİ:0.0 FAZ FARKI ÖLÇME:SAYISAL			
ALET KURULAN NOKTALAR		YANSITICI KURULAN NOKTALAR					
		2	3	4	5	6	7
1 $\frac{D_i [m]}{m_{ii} [mm]}$		60.878 ±1.3	162.756 ±1.0	305.838 ±1.4	428.351 ±1.1	509.680 ±1.5	550.108 ±2.2
		2	101.878 ±1.3	244.959 ±1.7	367.470 ±1.8	448.800 ±2.2	489.230 ±2.1
			3	143.081 ±2.3	265.597 ±1.2	346.926 ±1.7	387.354 ±1.2
				4	122.511 ±0.9	203.841 ±1.3	244.271 ±1.3
					5	81.328 ±1.1	121.751 ±1.6
						6	40.429 ±1.1

Cizelge:4.11

$$m_i = \pm 1.6 \text{ mm}$$

Çizelge:4.11

ALET:AUTORANGER NO : 068 3135 BİRİM UZUNLUK:10m		YANSITICI:K.E.Tek NO: KIRILMA İNDİSİ:1.000310		TARİH: 10/9/1979 SIFIR NOKTASI EKİ: 1mm FAZ FARKI ÖLÇME:SAYISAL			
ALET KURULAN NOKTALAR		YANSITICI KURULAN NOKTALAR					
		2	3	4	5	6	7
1 $\frac{D_i [m]}{m_{ii} [mm]}$		60.880 ±2.8	162.758 ±3.0	305.845 ±2.5	428.354 ±2.5	509.681 ±2.2	550.109 ±1.8
		2	101.879 ±1.1	244.970 ±1.5	367.482 ±1.1	448.802 ±2.5	489.237 ±2.6
			3	143.090 ±2.0	265.600 ±2.0	346.925 ±1.6	387.362 ±2.7
				4	122.513 ±1.9	203.847 ±1.3	244.276 ±2.4
					5	81.334 ±1.6	121.762 ±1.8
						6	40.432 ±1.2

$$m_i = \pm 2.1 \text{ mm}$$

Sonuçlar, Çizelge:4.12 de görülmektedir.

Çizelge:4.12

KONTROL KENARI	ALET	DI3	AUTO- RANGER
I	B	29.08	27.72
	B _s	(31.40)	(31.40)
II	B	26.92	30.34
	B _s	(31.40)	(31.40)

Çizelge:4.12 den; her iki aletle yapılan kontrol kenarı ölçmelerinde,kenar ölçmelerinin iç presizyonlarının homojen olduğu ve $m_1=m_2=...=m_k$ alınabileceği görülmektedir.Böylece iç presizyonların; gruptan gruba değişen,ölçülen uzunluğa, faz farkına ve kırılma indisine bağımlı olmadığı söylenebilir.

Bir kenar ölçmesinin iç presizyonu ölçme işlemi de dikkate alındığında; sadece okuma ve yöneltme hatasının bir göstere midir. Her alet için hesaplanan bir kontrol ölçmesinin (bir küme) iç presizyonu, aletin okuma ve yöneltme karesel ortalama hatası olarak alınabilir.Burada II.kontrol kenarı ölçmeleri en genel durumu gösterdiğinden, her iki aletin okuma ve yöneltme karesel ortalama hatası olarak bu kontrol kenarı için hesaplanan iç presizyonlar,

DI3 için $(m_o^2 + m_y^2)^{1/2} = \pm 1.6 \text{ mm}$
 Autoranger için $(m_o^2 + m_y^2)^{1/2} = \pm 2.1 \text{ mm}$
 alınmıştır.

4.3.3.2. Sıfır noktası ekinin, faz farkı ölçme hatasının
ve düzensiz ölçme hatalarının hesaplanması :

Kontrol kenarında yapılan ölçmelerdeki düzenli hatalar ile düzensiz hataları birbirinden ayırmak ve aletlerin uzunluktan bağımsız hatalarını belirlemek amacı ile kontrol kenarının indirgenmiş ölçmeleri, aşağıdaki matematik modellere uygun olarak en küçük kareler yöntemi ile dengelenmiştir.

I. Kontrol kenarının indirgenmiş ölçmeleri :

- 1- Kontrol kenarının ara uzunlukları bilinmeyen alınarak,
 - 2- Kontrol kenarının ara uzunlukları ve sıfır noktası eki bilinmeyen alınarak,
- dengelenmiştir.

II. Kontrol kenarının indirgenmiş ölçmeleri;

- 1- Kontrol kenarının ara uzunlukları bilinmeyen alınarak,
- 2- Kontrol kenarının ara uzunlukları ve sıfır noktası eki bilinmeyen alınarak,
- 3- Kontrol kenarının ara uzunlukları, sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonunun katsayıları bilinmeyen alınarak,

4- Kontrol kenarının ara uzunlukları, sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonunun 360° periyodunu belirleyen katsayıları bilinmeyen alınarak (4.11 eşitliğinden),

5- (4.12) ve (4.13) eşitliklerine uygun olarak faz farkı ölçme fonksiyonuna göre ölçmeler düzeltildikten sonra ara uzunluklar bilinmeyen alınarak, dengelenmiştir.

Dengeleme hesapları; ölçme değerlerinin ağırlıkları $P_i = c/m_{ii}^2$ ve $P_i = 1$ alınarak yapılmıştır. Her iki ağırlık için de birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge:4.13 ve Çizelge:4.14 de $P_i = 1$ alınarak yapılan dengeleme sonuçları görülmektedir. Çizelgelerde m_x sütunu ara uzunlukların hesaplanan karesel ortalama hatasını göstermektedir. Ara uzunlukların karesel ortalama hatalarının farklı olduğu II-4 ve II-5 dengelemelerinde, en küçük ve en büyük m_x değerleri alınmıştır.

f serbestlik derecesine ve $S = \%95$ güvene bağlı olarak cetvelden alınan t_s test değişkeninin sıfır noktası ekinin karesel ortalama hatası ve faz farkı ölçme fonksiyonunun katsayılarının karesel ortalama hataları ile çarpım her dengelemenin üçüncü satırında görülmektedir.

Çizelge:4.13 İndirgenmiş DI3 ölçmelerinin dengeleme sonuçları

KONTROL KENARI	MODEL NO		K_{00}	K_{11}	K_{21}	K_{12}	K_{22}	f
		m_x	$m_{K_{00}}$	$m_{K_{11}}$	$m_{K_{21}}$	$m_{K_{12}}$	$m_{K_{22}}$	m_o
			$t \cdot m_{K_{00}}$	$t \cdot m_{K_{11}}$	$t \cdot m_{K_{21}}$	$t \cdot m_{K_{12}}$	$t \cdot m_{K_{22}}$	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
I	1	0.6						15 1.1
	2	0.5	-1.1 0.4 0.7					14 1.0
	3	0.5						15 1.0
	4	0.5	-0.04 0.4 0.7					14 1.0
II	1	1.1						15 2.0
	2	1.1	-0.9 0.9 1.6					14 2.0
	3	1.2-1.7	-0.0 1.8 3.2	-0.4 0.8 1.3	0.6 0.7 1.3	-1.0 1.3 2.3	0.0 0.9 1.6	10 2.1
	4	1.1-1.5	-0.3 1.3 2.3	-0.5 0.7 1.3		-0.9 1.1 2.0		1.2 2.0
	5	1.0						15 1.9

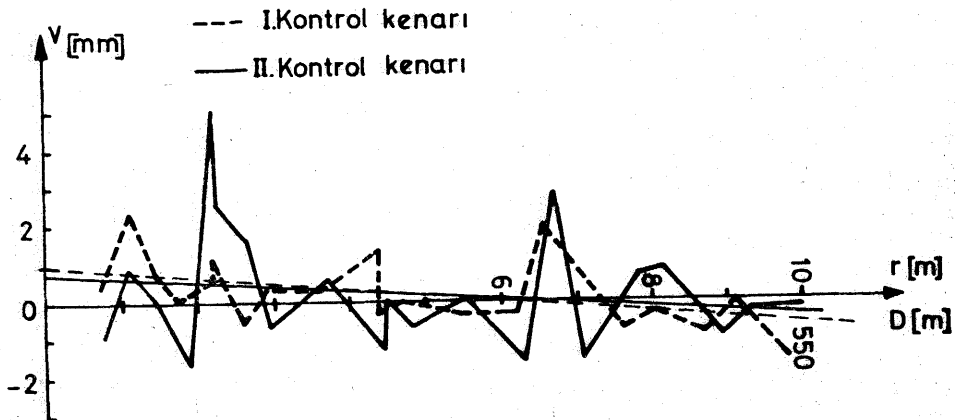
Çizelge:4.14 İndirgenmiş Autoranger ölçmelerinin dengeleme sonuçları

KONTROL KENARI	MODEL NO		K_{00}	K_{11}	K_{21}	K_{12}	K_{22}	f
		m_x	$m_{K_{00}}$	$m_{K_{11}}$	$m_{K_{21}}$	$m_{K_{12}}$	$m_{K_{22}}$	m_o
			$t_{S \cdot m_{K_{00}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{11}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{21}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{12}}}$	$t_{S \cdot m_{K_{22}}}$	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
I	1	1.8						15 3.4
	2	1.6	2.9 1.3 2.3					14 3.0
	3	2.0						15 3.8
	4	1.6	4.2 1.3 2.3					14 3.0
II	1	2.1						15 3.9
	2	1.6	4.6 1.3 2.3					14 2.9
	3	1.5-2.2	6.2 2.3 4.2	-2.1 1.0 1.8	-0.1 0.9 1.6	-1.7 1.7 3.1	-1.2 1.2 2.2	10 2.7
	4	1.5-2.0	5.0 1.7 3.0	-2.2 0.9 1.6		-1.1 1.4 2.5		12 2.6
	5	1.7						15 3.2
	6	1.5						15 2.8

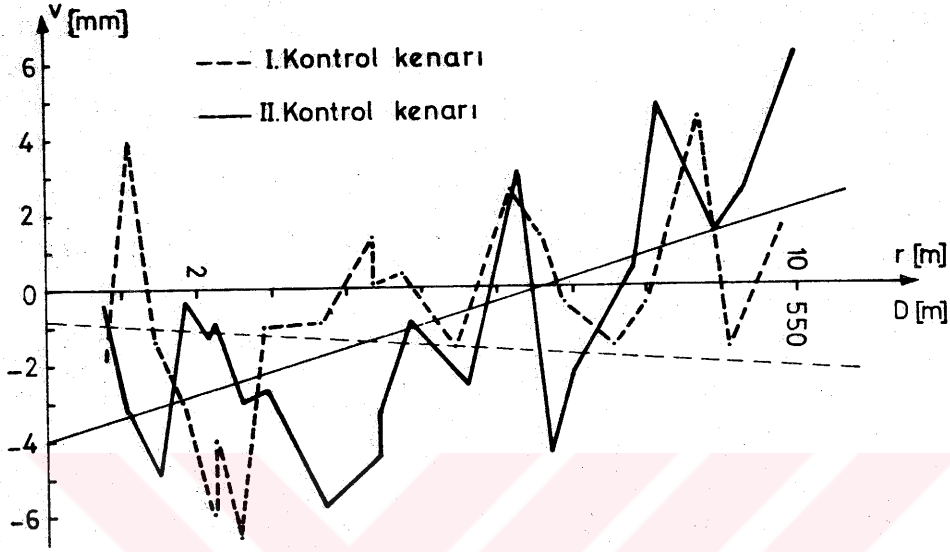
Dengelemeden sonraki birim ağırlıklı ölçmenin karesel ortalama hatası Çizelge:4.11 ve Çizelge:4.12 de m_0 sütununda gösterilmiştir. Ölçeksiz kontrol kenarlarında belirlenen birim ağırlıklı ölçmelerin karesel ortalama hatası uzunluktan bağımsız hataların bir gösterimi olarak alınabilir.

4.3.3.3. Sıfır noktası ekinin uzunluğa bağımlılığın araştırılması :

Ölçeksiz kontrol kenarlarında sıfır noktası ekinin uzunluğa bağımlılığı, dengelemeden bulunan düzeltmelerin irdelenmesiyle saptanabilir. Bu amaçla, büyüklük sırasına göre dizilen kontrol kenarı ölçmeleri ve bunların I-1, II-1 dengelemelerinden bulunan düzeltmeleri ile uzunluk-düzeltilme grafiği düzenlenmiştir. Şekil:4.5 ve Şekil:4.6 da bu grafikler görülmektedir.



Şekil:4.5 DI3 ölçmelerinin I-1, II-1 dengelemelerinin uzunluk-düzeltilme grafiği



Şekil:4.6 Autoranger ölçmelerinin I-1,II-1 dengelemele-
rinin uzunluk-düzeltme grafiği

II.kontrol kenarının tasarımındaki özelliği nedeni ile D uzunluk eksenini aynı zamanda ölçülen uzunlukdaki birim uzunluğun kesirlerini de göstermektedir.

Şekil:4.5 ve Şekil:4.6 daki v düzeltmelerinden en küçük kareler yöntemi ile;

$$v [\text{mm}] = X_1 [\text{mm}] + X_2 \left[\frac{\text{mm}}{\text{km}} \right] \cdot D [\text{km}] \quad 4.14$$

eşitliğini sağlayan X_1, X_2 katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge:4.15 de hesaplanan katsayılar ve karesel ortalama hataları görülmektedir.

Çizelge:4.15

ALET	I. KONTROL KENARI				II. KONTROL KENARI			
	X ₁	m _{X₁}	X ₂	m _{X₂}	X ₁	m _{X₁}	X ₂	m _{X₂}
DI3	1.0	±6.0	-3.1	±19.7	0.9	±22.2	-2.5	±71.6
AUTO-RANGER	-0.8	±36.7	-2.2	±154.8	-4.4	±49.6	12.2	±160.1

Çizelge:4.15 deki sonuçlar (4.10) hipotezi ile irdelenmiştir. Bulunan katsayılar güvenilir değildir. Bu sonuç; sıfır noktası ekinin, ölçülen uzunluklarda belirli bir uzunluğa bağımlılığı olmadığını göstermektedir.

4.4. Laboratuvar ölçmeleri ile arazi ölçmelerinin sonuçlarının irdelenmesi :

Kısa ölçme bazındaki ölçmelerden hesaplanan bir ölçmenin okuma karesel ortalama hatası (Çizelge:4.5);

$$\text{DI3} \quad \text{için} \quad m_o = \pm 0.90 \text{mm}$$

4.15

$$\text{Autoranger için} \quad m_o = \pm 0.53 \text{mm}$$

bulunmuştur. Arazide oluşturulan kontrol kenarlarındaki ölçmelerden hesaplanan bir ölçmenin okuma ve yöneltme karesel ortalama hatası;

$$\text{DI3} \quad \text{için} \quad (m_o^2 + m_y^2)^{1/2} = \pm 1.6 \text{mm}$$

4.16

$$\text{Autoranger için} \quad (m_o^2 + m_y^2)^{1/2} = \pm 2.1 \text{mm}$$

bulunmuştur. Arazi ölçmelerinde, ölçme anında atmosferik parametrelerin değişimi de bu değerlendirmede okuma ve yöneltme

hatası olarak görünebilir. Ancak arazi ölçmeleri düzenli atmosferik koşullarda yapıldığından, (4.16) sonuçları bir ölçmenin okuma ve yöneltme karesel ortalama hatası olarak alınabilir.

(4.15) ve (4.16) sonuçlarından, bir ölçmedeki yöneltme hatası;

$$\text{DI3} \quad \text{için} \quad m_y = \pm 1.3 \text{ mm} \quad 4.17$$

$$\text{Autoranger} \quad \text{için} \quad m_y = \pm 2.0 \text{ mm}$$

olarak bulunmuştur.

Laboratuvar ölçmelerinden sıfır noktası eki değerleri (Çizelge:4.7);

$$\text{DI3} \quad \text{için} \quad 0.7 \text{ mm} \pm 0.15 \text{ mm} \quad 4.18$$

$$\text{Autoranger} \quad \text{için} \quad 3.2 \text{ mm} \pm 0.24 \text{ mm}$$

bulunmuştur. Sıfır noktası eki değerlerinin dengelemeden hesaplanan karesel ortalama hataları, sadece okuma ve merkezleştirme hatalarını içermektedir. Dengelenen ölçmeler, 4 bağımsız yöneltmenin aritmetik ortalamasıdır. Bu nedenle sıfır noktası eki değerlerinin, sıfır noktası ekinin değişimini etkileyen yöneltme hatasını da içermesi gerekir.

Laboratuvar ölçmelerinden faz farkı ölçme fonksiyonu, ölçülen faz farkına bağlı olarak ((4.12) ve (4.13));

$$\begin{aligned} \text{DI3} \quad \text{için} \quad & -2.05 \left[\text{mm} \right] \sin(\Delta\psi + 23.13^\circ) \pm 0.2 \left[\text{mm} \right] \\ \text{Autoranger} \quad \text{için} \quad & 2.13 \left[\text{mm} \right] \sin(\Delta\psi - 43.42^\circ) \pm 0.4 \left[\text{mm} \right] \end{aligned} \quad 4.19$$

olarak bulunmuştur.

Arazi ölçmelerinden hesaplanan sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonunun katsayılarının kabul edilebilirliği

f serbestlik derecesi ve %95 güven aralığında, (4.10) sıfır hipotezi ile t test değişkeni alınarak irdelenmiştir.

I-2 dengelemesinden hesaplanan (Çizelge:4.13,Çizelge: 4.14).

$$\text{DI3} \quad \text{için} \quad -1.1\text{mm} \pm 0.4\text{mm} \quad 4.20$$

$$\text{Autoranger} \quad \text{için} \quad 2.9\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$$

sıfır noktası eki değerleri güvenilirdir.

II.kontrol kenarındaki II-2,II-3,II-4 dengelemelerde DI3 için hesaplanan sıfır noktası eki değerleri güvenilir bulunamamıştır. Aynı dengelemelerde,Autoranger için hesaplanan (Çizelge:4.14) ;

$$\begin{array}{lll} \text{II-2} & \text{den} & 4.6\text{mm} \pm 1.3\text{mm} \\ \text{II-3} & \text{den} & 6.2\text{mm} \pm 2.3\text{mm} \\ \text{II-4} & \text{den} & 5.0\text{mm} \pm 1.7\text{mm} \end{array} \quad 4.21$$

sıfır noktası eki değerleri güvenilirdir.

I. ve II. kontrol kenarlarında hesaplanan sıfır noktası değerleri arasındaki farklar;

$$\bar{t} = \frac{K_I - K_{II}}{(m_{K_I}^2 + m_{K_{II}}^2)^{1/2}} \quad 4.22$$

test değişkeni ve

$$H_0 : (K_I - K_{II} = 0) \quad 4.23$$

sıfır hipotezi alınarak irdelenmiştir. Burada K_I :I.kontrol

kenarında hesaplanan sıfır noktası eki değeri ve K_{II} ;II.kontrol

kenarında hesaplanan sıfır noktası eki değerini simgelemektedir.

Kabul edilebilirlik sınırı t_s , %95 güven aralığı ve

$f=f_I+f_{II}$ serbestlik derecesi için t dağılım çizelgesinden alınmıştır. Sonuçlar Çizelge:4.16 da görülmektedir.

Çizelge: 4.16

ALET FARKLAR		DI3	AUTO- RANGER
$K_{I-2}-K_{II-2}$	$ t $	0.11	0.92
	t_S	(1.70)	(1.70)
$K_{I-2}-K_{II-3}$	$ t $	0.57	1.25
	t_S	(1.71)	(1.71)
$K_{I-2}-K_{II-4}$	$ t $	0.50	0.98
	t_S	(1.71)	(1.71)

Çizelge:4.16 dan bütün farklar için $t_S > |t|$ olduğu görülmektedir. Buna göre (4.23) sıfır hipotezi geçerlidir ve her iki kontrol kenarında hesaplanan sıfır noktası eki değerleri arasındaki farkların düzensiz hatalardan oluştuğu söylenebilir.

(4.19) sonuçları dikkate alındığında, $\Delta\psi = 0$ için I.kontrol kenarındaki tüm ölçülerin;

DI3 için 0.7mm

4.24

Autoranger için 1.3mm

daha kısa ölçüldüğü görülmektedir. I.kontrol kenarı ölçmeleri

(4.24) e göre düzeltildikten sonra, ara uzunluklar ve sıfır

noktası eki bilinmeyen alınarak dengelenmiştir. Dengeleme so-

nuçları Çizelge:4.13 ve Çizelge:4.14 deki I-3, I-4 de görülmektedir. Bulunan sıfır noktası eki değerleri;

DI3 için -0.04mm ± 0.4 mm

4.25

Autoranger için 4.2mm ± 1.3 mm

dir ve her iki alet için II.kontrol kenarında bulunan sonuçlarla uyushmaktadır.

Faz farkı ölçme hatasını da belirlemek amacı ile oluşturulan II.kontrol kenarı ölçmelerinin II-3,II-4 dengelemelerinde iki alet için bulunan katsayılar güvenilir değildir (Çizelge:4.13,Çizelge:4.14).Bu nedenle Autoranger için hesaplanan (4.21) sonuçlarının (4.19) da belirtilen 2.13mm genlikli faz farkı ölçme hatasının etkisini de içerdigi söylenebilir.

Her iki alet için güvenilir uzunluktan bağımsız aletsel hata eşitliği (4.19) ve (4.25) sonuçlarından;

$$\text{DI3 için } F_z^{\text{[mm]}} = -2.05 \cdot \sin(\Delta\psi^g + 23.13) \pm 0.4 \text{ mm} \quad 4.26$$

$$\text{Autoranger için } F_z^{\text{[mm]}} = 4.2 + 2.13 \cdot \sin(\Delta\psi^g + 43.42) \pm 1.3 \text{ mm}$$

olarak alınabilir.

Ölçüler (4.26) sonuçlarına göre düzeltilirse düzeltilmiş ölçülere uzunluktan bağımsız aletsel hataların etkisinin;

$$\text{DI3 için } \pm 0.4 \text{ mm}$$

$$\text{Autoranger için } \pm 1.3 \text{ mm}$$

olduğu söylenebilir. (4.26) sonuçlarına göre II.kontrol kenarı ölçüleri düzeltilerek dengelenmiştir.Dengeleme sonuçları Çizelge:4.13 ve Çizelge:4.14 II-6 da görölmektedir.

I-1 dengelemesi ile I-2,I-4 dengelemeleri ve II-1 dengelemesi ile II-2,II-3,II-4 dengelemeleri karşılaştırıldığında, uzunluktan bağımsız aletsel hataların bilinmeyen olarak denge-

lemeye sokulması veya hesaplanan uzunluktan bağımsız aletsel hatalara göre düzeltilen ölçmelerin dengelenmesi durumunda, bir ölçmenin karesel ortalama hatasının iyileştiği görülmektedir (Çizelge:4.13 ve Çizelge:4.14)

II-1 dengelemesinde hesaplanan bir ölçmenin karesel ortalama hatası, (2.2) eşitliğinde belirtilen bir ölçmenin karesel ortalama hatasının uzunluktan bağımsız bileşeni (a) olarak alınabilir. Ancak burada bir ölçmenin, 10 bağımsız yöneltme ve okumadan elde edildiğine dikkat edilmelidir.

V. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektro-optik uzaklık ölçerlerle yapılan bir ölçmenin karesel ortalama hatasının düzensiz bileşeni ölçme sayısı ile denetlenebilir. Bunun için elektro-optik uzaklık ölçmelerindeki hataların oluşumu dikkate alınarak iki ayrı ölçme sayısı saptanmalıdır. Bunlardan birinci ölçme sayısı (n_1), bir alet-yansıtıcı kuruluşunda bağımsız yöneltmelerle yapılacak ölçme sayısı, ikinci ölçme sayısı (n_2) ise alet ve yansıtıcının yerlerini değiştirerek farklı atmosferik koşullarda yapılacak ölçme sayısıdır. Bu iki ölçme sayısına bağlı olarak bir ölçmenin karesel ortalama hatası;

$$m_s^2 = \frac{1}{n_2} \left\{ (m_z^2 + m_g^2 + s^2 m_a^2 + \frac{1}{n_1} (m_y^2 + m_o^2)) \right. \\ \left. m_K^2 + m_{\Delta\psi}^2 + s^2 (m_c^2 + m_f^2) \right\}$$

olur. n_1 ile okuma ve yöneltme hatası, n_2 ile ise okuma, yöneltme, merkezlendirme, geometrik düzeltme ve kırılma indisi hataları denetlenmektedir.

Genel olarak $n_1 \geq 10$ alınmalıdır. n_2 merkezlendirme presizyonuna ve ölçmenin amacına bağlı olarak belirlenmelidir.

Bir ölçmenin okuma karesel ortalama hatası alet-yansıtıcı yöneltmesi bozulmadan yapılan okumaların Bölüm:4.2.3.1. deki

biçimde değerlendirilmesiyle, okuma ve yöneltmenin karesel ortalama hatası bağımsız alet-yansıtıcı yöneltmelerinden elde edilen ölçmelerin Bölüm:4.3.3.1. deki biçimde değerlendirilmesiyle bulunabilir.

Bir ölçmenin karesel ortalama hatasının düzenli bileşeni ölçme sayısı ile denetlenemez. Düzenli hatalar alet parametrelerinin değişimiyle oluşurlar ve kalibrasyon yöntemleri ile saptanırlar.

Bir alette, sıfır noktası eki hatası ile faz farkı ölçme hatası birlikte oluşmaktadır. Bu iki hata; laboratuarda oluşturulacak, uzunluğu bilinen ve ucunda bölümlü parçası bulunan bazlarda yapılan ölçmelerin Bölüm:3.2.2. de açıklanan biçimde değerlendirilmesiyle güvenilir olarak birbirinden ayrılabilir. Bazın bölümlü parçası ölçme rayı düzeni ile veya Bölüm:4.2.1 de belirtildiği biçimde oluşturulabilir. [8] de ölçme rayında yapılan ölçmelerde hesaplanan katsayıların karesel ortalama hataları (ortalama 0.2mm) Çizelge:4.5 ve Çizelge:4.6 sonuçları ile karşılaştırıldığında, bu biçimde oluşturulan ölçme bazında da faz farkı ölçme fonksiyonu katsayılarının presizyonlu ve güvenilir olarak bulunabileceği görülmektedir.

Sayısal faz farkı ölçme yöntemiyle çalışan aletlerde faz farkı ölçme fonksiyonu, sıfır noktası eki ile birlikte genel olarak;

$$F(\Delta\psi) = K + A_1 \sin(\Delta\psi + \rho_1)$$

alınabilir.

Ölçeksiz kontrol kenarlarında hesaplanan faz farkı ölçme fonksiyonu katsayılarının güvenilirlikleri azdır. Bu nedenle bulunan faz farkı ölçme fonksiyonu yaklaşık bir kontrolü sağlar.

Witte B., Fröhlich H. tipi kontrol kenarlarında sıfır noktası ekinin güvenilir olarak belirlenmesi için aletin faz farkı ölçme fonksiyonunun fazının önemli ölçüde ileri veya geri olmaması gerekir.

Schwendener tipi kontrol kenarlarında sıfır noktası eki ile faz farkı ölçme fonksiyonu güvenilir olarak birbirinden ayrılamamaktadır. Bu tip kontrol kenarlarında bulunan sıfır noktası eki değerleri kuramsal olarak faz farkı ölçme fonksiyonunun etkisini de içermektedir. Bu nedenle, bulunan sıfır noktası eki değeri yaklaşık değer olarak alınmalıdır.

Her iki tip kontrol kenarında yapılan ölçmeler, laboratuvarda belirlenen faz farkı ölçme fonksiyonuna göre düzeltilirse, bunlardan hesaplanacak sıfır noktası eki değerleri birbirine yakın güvenilirlikte ve presizyonda olur.

Laboratuvar ölçmelerinden ve arazi ölçmelerinden hesaplanan sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonu fiziksel büyüklükler olarak yorumlanamaz. Bu değerler ölçülerin iyileştirilmesi için kullanılabilecek matematik dönüşüm büyüklük-

leridir. Ölçmeler bulunan değerlere göre düzeltilirse, dengelemeden sonraki karesel ortalama hataları azalmaktadır.

Ölçmeler, belirlenen sıfır noktası ekine göre düzeltilirse, sıfır noktası eki hatası (m_K) sıfır noktası ekinin belirlenmesindeki karesel ortalama hatadır. Faz farkı ölçme fonksiyonuna göre düzeltilen ölçmelerde, faz farkı ölçme hatası ($m_{\Delta\psi}$) fonksiyonunun karesel ortalama hatası kadardır.

Ölçeksiz kontrol kenarlarında sıfır noktası ekinin uzunluğa bağımlılığı Bölüm:4.3.3.3 deki biçimde araştırılabilir.

Model dalgaların frekans kalibrasyonlarının arazi ölçmeleriyle yapılabilmesi için ölçeklenmiş çok pilyeli kontrol kenarları oluşturulmalıdır. Sıfır noktası eki ve faz farkı ölçme fonksiyonu diğer yöntemlerle belirlenen aletlerin frekans kalibrasyonları bazlarda da yapılabilir.

[6] da belirtilen biçimde oluşturulan çok pilyeli ölçeklendirilmiş kontrol kenarlarında; sıfır noktası eki, faz farkı ölçmesi ve model dalga frekansları kısa zamanda kalibre edilebilir. Ancak bilinmeyen sayısının artması ve diğer ölçme hataları nedeniyle, hesaplanan katsayıların güvenilirliği azdır. Bu biçimdeki kontrol kenarlarında, bir ölçmenin karesel ortalama hatası doğrudan belirlenebilir.

Kontrol kenarlarındaki ölçmelerden hesaplanan sıfır noktası eki değeri kontrol kenarındaki uzunluklar için geçerlidir. Kontrol kenarının en büyük uzunluğu 1km civarında alınabileceğinden, daha büyük uzunluklarda geçerli sıfır noktası eki değeri kestirme yöntemi ile belirlenmelidir.. Bunun için de test ağlarının kurulması zorunludur.

[4] .

LITERATUR

- [1] Dracup Joseph F. Suggested Specifications for Local Horizontal Control Surveys, Washington, ACSM Control Survey Division, Technical Monography, 1973
- [2] Schwendener H.R. Electronic Distancers for Short Ranges: Accuracy and Checking Procedures, Survey Review, 21 Jg., 164, 1972, 273-281
- [3] Greene John R. Accuracy Evaluation in Electro-Optic Distance-Measuring Instruments, Surveying and Mapping, 3, 1977 247-251
- [4] Jeyapalan K. Dynamic Calibration of E.D.M. Instruments, California, School of Engineering California State University, 1976
- [5] Ashkenazi V.
Dodson A.H. The Calibration and Evaluation of EDM Instruments F.I.G.XV International Congress of Surveyors, Commission 5, 1977, 139-145
- [6] Rüeger J.M. Entwurf von Prüfstrecken des Schwendener Typs für electro-optische Entfernungsmesser, VR, Jg. 40 Heft 6, 1978, 315-324
- [7] Hölscher H.D. An Electro-Optical Distance Measuring System of High Accuracy for Short Ranges, Survey Review, 157, 1970, 309-322
- [8] Kahmen H. Untersuchung von analogen und digitalen Phasenmesssystemen in der elektrooptischen Entfernungsmessung, München, D.G.K. Reihe C, 186, 1973
- [9] Moffitt F.H. Calibration of EDM's for Precision Measurement, Surveying and Mapping, June 1975, 146-154

- [10] Witte B.
Fröhlich, H. Eichung elektrooptischer Entfernungsmesser Anlage von Eichstrecken und Auswertung der Eichmessungen, Forum, 3, 1978, 337-345
- [11] Herzog H. Untersuchung von Elektrooptischen Entfernungsmessern ELD1 2, ZfV, 8, 1978, 370
- [12] Burnside C.D. Electromagnetic distance measurement, London, Crosby Lockwood and Son Ltd, 1971
- [13] Kahmen H. Elektronische Messverfahren in der Geodäsie Grundlagen und Anwendungen Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, 1977
- [14] Saastamoinen J.J. Surveyor's Guide to Electro-magnetic Distance Measurement, Toronto, Canadian Institute of Surveying, 1967
- [15] Maier U. Genauigkeitsuntersuchungen zur elektrooptischen Messung Langer Strecken, Karlsruhe, Geodätisches Institut der Universität Fridericiana (TH) Karlsruhe, 1977
- [16] Cooper M.A. Fundamental of Survey Measurement and Analysis, London, Lockwood and Son Ltd, 1973
- [17] Curl S.J.
Hodges D.J. Meteorological Effects on the Accuracy of Short Range EDM Systems, F.I.G. XV International Congress of Surveyors, Commission 5, 1977, 317-328
- [18] Höpcke W. On the curvature of electromagnetic waves, Survey Review, 141, 1966, 298-312
- [19] Demunck J.C. The theory of dispersion applied to electro-optical distance measurement and angle measurement, Delft, Netherlands Geodetic Commission Publications on Geodesy, 4, 1970
- [20] Ayan T. Astrogeodätische Geoidberechnung für das Gebiet der Türkei, Geodätisches Institut der Universität Fridericiana, Karlsruhe, 1976

- [21] Felletschin V. Analyse und Steigerung der Genauigkeit bei elektronischen Entfernungsmessungen mit Licht- und Mikrowellen im Testnetz Karlsruhe, München, D.G.K. Reihe C, 246, 1978
- [22] Özgen M.G. Uzaklıkların Ölçülmesinde Elektronik ve Elektro-optik Metodlar, Trilaterasyon, İstanbul, İ.T.Ü., 1965
- [23] Kahmen H.
Zetsche H. Vergleichende Untersuchungen an elektrooptischen Nahbereichsentfernungsmessern, ZfV, 2, 1974, 68-81
- [24] Denison E.W. Report of IAG Special Study Group No.19 on Electro-magnetic Distance Measurement 1967-1971, 1971
- [25] Spellauge R. Der Hewlett-Packard Nahbereichsentfernungsmesser 3800 B, Hannover, Geodätisches Institut Technische Universität, Kontaktstudium Ingenieurvermessung, Februar 1975
- [26] Wolf H. Ausgleichungs-rechnung Formeln zur praktischen anwendung, Bonn, Dümmler, 1975
- [27] Pauli W. Testing the EOK 2000 on the Postdam Base Line, Carl Zeiss Jena, Surveying News, 26, 197
- [28] Infra-red Distancer Wild DI3 Distomat, Instructions for Use, Wild Heerbrugg Ltd.
- [29] Operating Manual AutoRanger Electronic Distance Measuring Instrument, Keuffel and Esser Company
- [30] Aksoy A. Matematik İstatistik Yöntemlerle Jeodezik Ölçülerin İrdelenmesi, İstanbul İ.T.Ü., 1974
- [31] Özgen M.G. Jeodezide Uzaklıkların Elektro-magnetik Metodlar ile Ölçülmesi, Harita Dergisi, Ankara, 68., 1964

- [32] Ingham A.E. Hydrography for the Surveyor and Engineer, Crosby Lockwood Staples, London, 1974
- [33] Wolff E.A. Geoscience Instrumentation, John Wiley and Sons, New York, 1974
Mercanti E.P.
- [34] Zetsche H. Elektronische Entfernungsmessung (EDM), Konrad Wittmar, Stuttgart, 1979
- [35] Mueller I.I. Applications of Geodesy to Geodynamics, The Ohio State University, 1978
- [36] Meisenheimer D. Geodätische Instrumente, Verlag, Chmielarz GmbH and Co., Wiesbaden, 1978
- [37] Schlemmer H. Aktuelle Instrumentkunde Herbert Wichman Verlag, Karlsruhe, 1979

UZAKLIK ÖLÇME SİSTEMLERİ

KONUM VE YÖRÜNGE BELİRLEME SİSTEMLERİ

OPTİK DALGALARLA ÇALIŞAN ALETLER

MİKRO DALGALARLA ÇALIŞAN ALETLER

INTERFEROMETRELER

YER BAZLI SİSTEMLER

CEKİMSER SİSTEMLER

UZAY SİSTEMLERİ (UYDU SİSTEMLERİ)

ELEKTRO-OPTİK UZAKLIK ÖLÇERLER

İŞIK DALGALI ALETLER
GEODIMETER 2A(A.G.) ±20 ±1 ⁽²⁾ 30 km. ⁽³⁾
GEODIMETER 4B ±10 ±2 8 km.
GEODIMETER 6 ±10 ±2 15 km.
GEODIMETER 6A ±5 ±2 15 km.
EOS (JENA) ±5 ±2 15 km.
EOD-1 (S.S.C.B.) ±10 ±2 25 km.
SW/W (S.S.C.B.) ±20 ±1 12 km.
KRİSTAL (S.S.C.B.) ±20 5 km.
MEKOMETER ME 3000 ±0,2 (KERN) 2,5 km.

KIZIL ÖTESİ DALGALI ALETLER
GEODIMETER 12 ±5 ±10 2,4 km.
Eldi 1 (C.ZEISS OB.) ±10 ±2 4 km. ±20 ±2 5 km.
Eldi 2 (C.ZEISS OB.) ±5 ±2 2 km. ±20 ±2 3 km.
Eldi 3 (C.ZEISS OB.) ±10 ±2 1 km. ±20 ±2 1,5 km.
DM-60 (A.B.D.) ±5 ±10 2 km.
HP 3800 A/B ±5 ±7 3 km.
HP 3805 A ±5 ±10 1,6 km.
EOK 2000 (JENA) ±10 2,5 km.
DM 500 (KERN) ±10 0,5 km.
DM 1000 (KERN) ±10 3 km.
DM 2000 (KERN) ±10 3 km.
AUTO-RANGER(K.E.) ±5 ±6 2 km.
UNIRANGER (K.E.) ±10 ±2 8 km.
CD 6 (TELLUROMETER) ±5 ±5 2 km.
MA 100 (TELLUROMETER) ±1,5 ±1 2 km.
BEETLE 500 (A.B.D.) ±10 1 km.
SDM-3 (SOKKISHA) ±5 1,6 km.
SM-3 (S.S.C.B.) ±10 2 km.
MSD-1M (S.S.C.B.) ±2 0,5 km.
DI 10 (WILD) ±10 2 km.

He-Ne LASERLİ ALETLER
GEODIMETER 6BL ±5 ±1 25 km.
GEODIMETER 8 ±5 ±1 60 km.
GEODIMETER 76 ±10 3 km.
GEODOLITE 3G ±1 ±1 (A.B.D.) 70 km.
QUARZ (S.S.C.B.) ±10 ±2 25 km.
RANGER IV (K.E.) ±5 ±2 17 km.
RANGE-MASTER(K.E.) ±5 ±2 60 km.
RANGER V (K.E.) ±5 ±2 25 km.

ELEKTRONİK TAKEOMETRELER
GEODIMETER 710 ±5 ±1 ±5 ⁽⁴⁾ 5 km.
EIta 2 (C.ZEISS OB.) ±5 ±2 ±2 3 km.
EIta 4 (C.ZEISS OB.) ±5 ±2 ±10 3 km.
SM 11 (C.ZEISS OB.) ±5...10 ±10 2 km.
Reg EIta 14 (C.ZEISS OB.) ±5...10 ±10 1,2 km.
ET 2 + DM 501 (KERN) ±5 ±5 ±5 2 km.
TC 1 (WILD) ±5...10 ±6 ±12 2 km.
3820 A (H.P.) ±5 ±9 5 km.
VECTRON + AUTORANGER ±5 ±6 ±6 2 km. (K.E.)
SDT-1 (SOKKISHA) ±5 ±10 ±20 1,6 km.

YARI ELEKTRONİK TAKEOMETRELER
GEODIMETER 120 ±5 ±7 ±6 4 km. ±10 10 km.
SM 4 (C.ZEISS OB.) ±7...12 ±6 1,5 km. ±12...22 ±12 3 km.
EOT 2000 (JENA) ±5 ±3 2 km.
DI 3 (WILD) ±5 ±5 ±6 0,9 km.
DI 3S (WILD) ±5 ±5 ±6 2 km.
DI 4 (WILD) ±5 ±5 ±6 2,5 km.
3810 A (H.P.) ±5 ±10 ±10 3 km.
GUPPY GTS-1 (TOPCOM) ±5 ±10 ±10 1 km.
CITATION CI 450 (P.I.) ±5 ±5 ±6 4 km.
BEETLE 1400S (A.B.D.) ±5 ±5 ±6 2 km.

ÇOK DALGALI ALETLER

TELLUROMETER MRA3 ±15 ±3 50 km.
TELLUROMETER MRA101 ±15 ±3 50 km.
TELLUROMETER MRA4 ±3 ±3 60 km.
TELLUROMETER MRA5 ±10 ±3 50 km.
TELLUROMETER CA1000 ±15 ±5 30 km.
GET-B1 (MACARİSTAN) ±50 ±3 50 km.
GET-A2 (MACARİSTAN) ±20 ±3 50 km.
RDG (S.S.C.B.) ±50 ±3 30 km.
LUTSCH (S.S.C.B.) ±30 ±3 40 km.
RG 10 (POLONYA) ±30 ±3 40 km.
ELECTROTAPE DM 20 ±10 ±3 (A.B.D.) 50 km.
DISTAMETER (ERTEL-WERK) ±20 ±3 50 km.
DISTOMAT DI 50 (WILD) ±20 ±3 50 km.
SIAL MD 60 C ±10 ±3 (SIEMENS) 150 km.
SIAL MD 60 S ±10 ±3 (SIEMENS) 150 km.

VÄISÄLÄ INTERFERENZKOMPARATÖR ±1.10 ⁻⁷ s 1 km.
LASER-DOPPLER INTERFEROMETER ±1.10 ⁻⁷ s 5525A 60 m.
LASER-DOPPLER INTERFEROMETER ±1.10 ⁻⁷ s 5526A 60 m.
LASER-INTERFERO- METER ±1.10 ⁻⁷ s 60 m.

KISA MENZİLLİ SİSTEMLER (≤150 km)
AUTOTAPE DM 40 (A.B.D.) ±1 m, r-r ⁽⁵⁾ 100 km.
HYDRODIST (TELLUROMETER) ±1,5 m, r-r, 50 km. ^{TER}
MRB 201 (TELLUROMETER) ±1 m, r-r, 100 km.
TRISPONDER 202A (DECCA) ±3 m, r-r, 80 km.
SEA-FIX (DECCA) ±2...40 m, Hyp., 30 km.
HI-FIX (DECCA) ±2...40 m, Hyp., 70 km.
RADAR (RADAR) ±30...90 m, r-θ, 24 km.
ARTEMIS (HOLLANDA) ±1,5 m, r-θ, 55 km.
MINIRANGER III (KANADA) ±3 m, r-r, 75 km.
TRIDENT II (FRANSA) ±3 m, r-r, 125 km.
SYLEDIS (FRANSA) ±2 m, r-r, Hyp. 80 km.

ORTA MENZİLLİ SİSTEMLER (150-1200 km)
NAVIGATOR (DECCA) ±50...2000 m, Hyp., 250 km.
TORAN (FRANSA) ±2...50 m, Hyp., 350 km.
RAYDIST (A.B.D.) ±2...50 m, Hyp., 250 km.
LORAC (A.B.D.) ±2...50 m, Hyp., 250 km.
AEORODIST (TELLUROMETER) ±2 m, r-r, 220 km. ^{TER}
ANA (ALMANYA) ±(10 m.+7,6 m/h) 900 km.
LORAN-A ±1...7,4 km, Hyp., 1100 km.

UZUN MENZİLLİ SİSTEMLER (≥1200 km)
LORAN-C ±0,5...3,7 km, Hyp., 5500 km.
OMEGA ±0,9...1,8 km, Hyp., 11000 km.
VLF ±3,7...7,4 km, r-r, 1000 km.
CONSOLAN/CONSOL ±0,3...0,7° θ-θ, 2600 km.

DOPLER ÖLÇMELERİ İLE KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (NNSS/TRANSIT)

IMR-1 (A.B.D.)
GEOCEIVER (A.B.D.)
GEOCEIVER II (A.B.D.)
CMA-722 A (KANADA)
CMA-722 B (KANADA)
MAGNAWOX (A.B.D.)

ZAMAN VE UZUNLUK ÖLÇME İLE KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (NAVSTAR/GPS)

YER BAZLI LASER SİSTEMİ

UZAY GEMİLERİ İLE LASER SİSTEMİ

ÇOK UZUN BAZLI INTERFEROMETRİ SİSTEMİ (VLBI)

HAREKETLİ ÇOK UZUN BAZLI INTERFEROMETRİ SİSTEMİ

- (1), Kullanılan aletler
 (2), ±[mm] ±[ppm] biçiminde bir ölçmenin karesel ortalama hatası
 (3), En büyük ölçme uzaklığı
 (4), [cc] biriminde yatay ve düşey açı ölçmesinin karesel ortalama hatası
 (5), Konum belirleme yöntemi
 r-r , Kenar-kenar
 Hyp. , Hiperbolik
 r-θ , Kenar-açıklık açısı
 θ-θ , Açıklık açısı - açıklık açısı

ÖZGEÇMİŞ

1949 yılında Akçakoca'da doğdum. İlk ve orta okulu Akçakoca'da bitirdikten sonra Tapu ve Kadastro Meslek Lisesi'ne girdim ve 1966 yılında mezun oldum. Bir yıl Karasu Şehir Kadastro Müdürlüğü'nde fen memuru muavini olarak çalıştım. 1967 yılında İ.D.M.M.A. Harita-Kadastro Bölümü'ne girdim ve 1972 yılında mezun oldum. Aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Jeodezi Kürsüsüne teknisyen olarak girdim ve 1976 yılında aynı kürsüye asistan olarak atandım. Halen bu görevde bulunuyorum.

Evli ve bir çocuk babasıyım.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi