

ELEKTRONİK ÖLÇME ALETLERİNİN KONTROL VE KALİBRASYONU

E. GÜLAL¹, R. DENİZ²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul, egulal@yildiz.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, denizr@itu.edu.tr

Özet

1730 yılında ilk teodolitin İngiliz mekanikçi J. Sisson tarafından imal edilmesinden günümüze kadar gelişen teknolojiye paralel olarak jeodezik ölçme aletlerinde yapısal anlamda önemli değişimler olmuştur.

Yaklaşık 250 yıllık bir geçmişe dayanan jeodezik ölçme aletlerinin, kontrol ve kalibrasyonu Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğindeki geleneksel çalışma konuları arasında yer almaktadır. Özellikle günümüzde teknik veri kalitesinin önem kazanması ile teknik veri üretiminde kullandığımız ölçme donanımlarının kontrolü daha da önem kazanmıştır. Hayatımızın her alanında olduğu gibi mesleğimizde de kalite, ortaya çıkan ürün için en önemli ölçütür. Kalite isteklerini karşılamak amacıyla kalite politikası ve hedeflerinin başarı ile elde edilmesi için sürdürülen faaliyetler olarak tanımlanan TS-EN-ISO 9000'in kalite yönetim sisteminin şartları arasında Ürün Gerçekleştirme başlığı altında İzleme Ve Ölçme Cihazlarının Kontrolü maddesi bulunmaktadır.

Bu çalışmada, jeodezik ölçme aletlerinin kontrol ve kalibrasyonunun önemi vurgulanmış ve elektronik uzunluk ölçer, elektronik takeometrelerin kontrol ve kalibrasyonlarına ilişkin bilgiler verilmektedir. Bu bilgilerin yanında jeodezik ölçme aletlerinin kontrolüne ilişkin Alman DIN ve ISO normları açıklanmakta, FIG'in 5. Komisyonunun bu konudaki önerileri aktararak elektronik ölçme aletlerinin kontrol ve kalibrasyonunun gerekliliği üzerinde durulmaktadır.

Anahtar kelimeler : Kalibrasyon, Elektronik Uzunluk Ölçer, Elektronik

CONTROL AND CALIBRATION OF ELECTRONIC MEASUREMENT INSTRUMENTS

Abstract

Geodetic measurement instruments had important structural developments since manufacturing of first theodolite in 1730 by J. Sisson.

Control and calibration of geodetic measurement instruments which have approximately 250 year history is traditional working subjects of Geodesy and Photogrammetry Engineers. Depending on technical data quality increases, control of measurement equipments which is used for technical data production became more important. Like every area in our life, quality is most important criterion for production in our profession too. There is an article named Control of Monitoring and Measurement Equipments under Product Development title in TS-EN-ISO 9000 quality management system agreement.

In this study, control and calibration of geodetic measurement instruments was explained and information about control and calibration of electronic distance meters, electronic tacheometers was given. And also German DIN and ISO norms and suggestions of FIG 5th commission were explained.

Keywords: Calibration, Electronic Distance Meter, Electronic.

1. Temel Kavramlar

Ölçü büyüklüğü uzunluk, açı ve sıcaklık gibi ölçülebilen fiziksel bir büyüklüktür ve ölçme yöntemleri ile belirlenebilen ve rastlantıdan bağımsız fiziksel gerçektir.

Ölçü değerleri, kaçınılmayan ölçü sapmaları nedeniyle olasılık hesapları kurallarına göre teorik ortalama değer çevresinde dağılır. Bu değer, ölçü sonucunun umut değeridir.

Ölçü sonucu, ölçü değerlerinden fiziksel ve matematiksel ilişkiler ile türetilir ve bir ölçü birimi ile tanımlanan sayı ile ifade edilir.

Ölçme aleti, tek başına yada diğer ekipmanlarla birlikte, bir ölçümü gerçekleştirmek için tasarlanmış cihazdır.

Kalibrasyon, belirlenmiş koşullar altında, ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterdiği değerler ile gösterilen değerlerle ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisi olarak tanımlanmaktadır.

Ayarlama, bir ölçü aletinin sapmasının verilen sınırlar içinde kalacak şekilde giderilmesi işlemidir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ölçülerden beklentilerde artmış ve her alanda olduğu gibi ölçü ile uğraşan metrolojide (ölçüm bilimi) “kalite” daha önemli bir kavram haline gelmiştir. Bir ürünün kalitesinden bahsedildiği zaman ürünün kullanıma uygunluğu ve ihtiyaçları karşılama özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bir ürünün kalitesi, kalite sistemi içinde yürütülen ve gerektiğinde ürünün kalitesi ile ilgili tüm gereklilikleri yerine getirdiğini gösteren tüm planlı ve sistematik faaliyetler olarak tanımlan *kalite güvence sistemi* içinde gerçekleştirilir. Kalite güvence sistemi içinde bir ürünün kalitesi hakkında karar vermek için başvuru temel kriter standartlardır. *Standart*, bir fikir birliği sonucunda oluşturulmuş olan bir ürün, hizmet yada yönetime ilişkin gereklilikleri tanımlayan ve yetkili bir organ tarafından verilmesi mümkün olan bir dokümandır.

Ölçüm standartlarındaki hiyerarşi için Uluslararası Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü (Vocabulaire International des termes fondamentaux et generaux de Metrologie-VIM) aşağıda verilen sınıflamayı öngörmektedir.

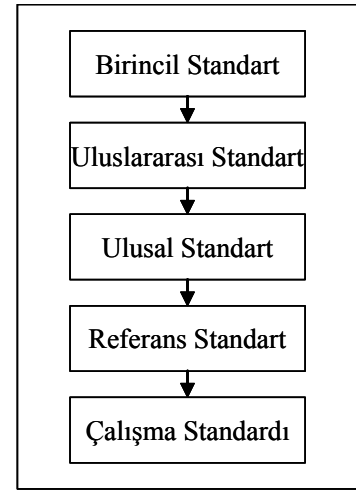
Birincil standart: En yüksek metrolojik özelliğe sahip olarak bilinen veya bu şekilde tasarlanan ve değeri, aynı büyüklüğün diğer standartlarına izlenebilirlik olmaksızın kabul edilmiş standart.

Uluslararası standart: Uluslararası seviyede ilgili büyüklüğün diğer standartlarına değer aktarmak için uluslararası bir anlaşmayla temel olarak kullanılan standart.

Ulusal standart: Bir ülkede, ilgili büyüklüğün diğer standartlarına değer aktarmak için ulusal bir kararla temel olarak kullanılan standart.

Referans standart: Belirli bir yerde veya organizasyonda bulunan genelde en yüksek metrolojik özelliğe sahip, yapılan ölçümlerin kendisinden türetildiği standart.

Çalışma standardı: Bir referans standartla kalibrasyonu yapılmış, ölçü aletlerinin kalibrasyonunun veya kontrolünün kendisiyle yapıldığı standart.



Şekil 1. Ölçüm Standartlarında hiyerarşi

Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı uluslararası seviyede birincil standartların gerçekleştirilmesi ile ilgili kararları almakta ve Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu tarafından da bu standartların geliştirilmesi, bakımı ve en üst seviyedeki karşılaştırmaları organize edilmektedir.

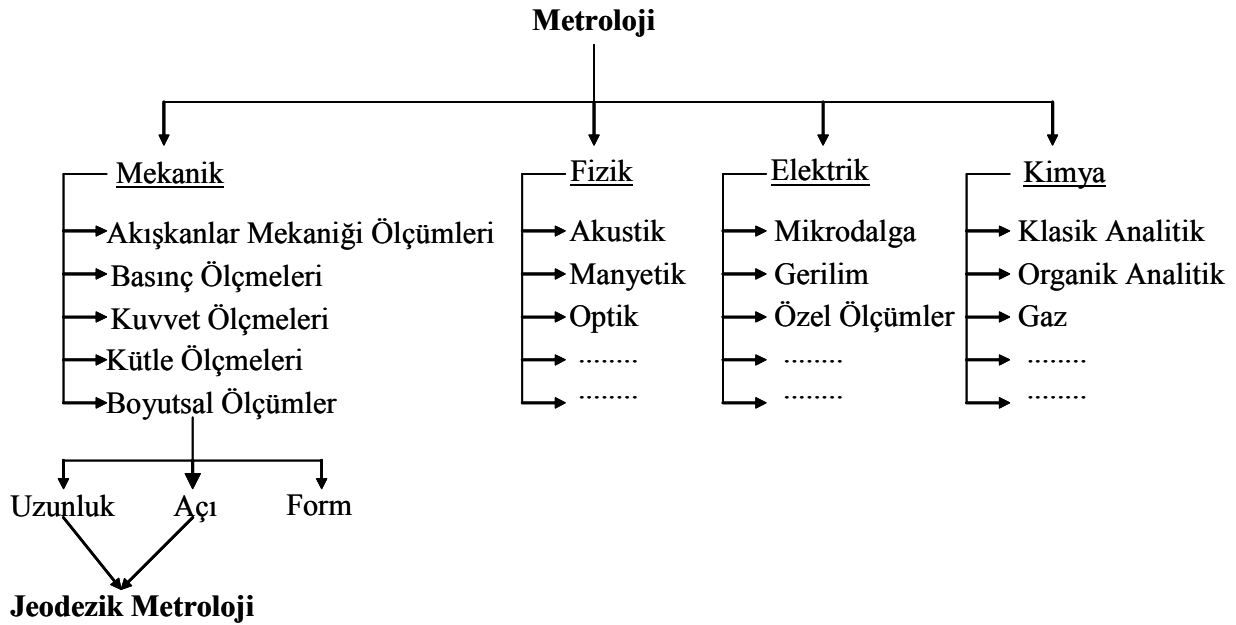
Tüm ülkelerde metroloji için en yüksek otorite olan Ulusal Metroloji Enstitüleri, kalibrasyon hiyerarşisinin en üstünde yer almakta ve o ülkedeki fiziksel büyüklükler için izlenebilirlik kaynağı olan ulusal standartları bulundurlar.

Çalışma standartları uygun aralıklarda Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından veya akredite olmuş laboratuvar tarafından kalibre edilmiş referans standartlarla karşılaştırılmaktadır, [1]

2. Metroloji Bilim Dalı

Ölçüm bilimi anlamında olan Metrolojinin VIM'deki tanımına göre; metroloji, doğruluk seviyesi ve uygulama alanına bakmaksızın ölçmeye dayanan pratik ve teorik tüm konuları kapsamaktadır.

Çok geniş bir uygulama alanı olan metrolojinin hiyerarşik yapısı incelendiğinde boyutsal ölçümlerin alt dalında uzunluk ve açı ölçümleri bulunmaktadır. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde yersel yöntemlerle konum bilgilerin elde edilmesinde uzunluk ve açı verileri toplanmakta ve değerlendirilmektedir. Bu çerçevede jeodezik amaçlı yapılan ölçümler için "Jeodezik Metroloji" kavramından söz etmek mümkündür.



Şekil 2. Metroloji bilim dalının ilgi alanları

Oldukça yeni olan Jeodezik Metroloji kavramı yavaş yavaş Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bünyesinde yerini almaya başlamaktadır. Züriç'deki İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü bünyesindeki Jeodezi ve Fotogrametri Enstitüsünde Jeodezik Metroloji ve Mühendislik Jeodezisi Anabilim Dalı eğitim ve araştırma faaliyetlerini sürdürmektedir.

Metrolojik faaliyetler genel olarak Bilimsel Metroloji, Endüstriyel Metroloji ve Kanuni Metroloji olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir.

Bilimsel metrolojinin konusu Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansında kabul edilen kararlara göre birincil standartların oluşturulmasını sağlamak ve araştırma çalışmalarını yapmaktır.

Ülkemizde yapılan ölçümleri güvence altına almak, bu ölçümlerin uluslararası sisteme uyumunu sağlamak ve Türk endüstriyel ürünlerinin kalitesini arttırmak için 1992 yılında TÜBİTAK bünyesinde Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) kurulmuştur. UME, ölçümlerini yürürlükteki uluslararası standartlara göre yapmakta ve UME'nin yaptığı ölçümler 14 Ekim 1999'da Paris'te imzalanan uluslararası karşılıklı

tanınma antlaşmasına göre başta ABD, Avrupa Birliği, ülkeleri olmak üzere 48 ülke tarafından tanınmaktadır, [3].

Bilimsel metroloji sonucunda elde edilen birincil standartlara bağlı olarak endüstriyel alanda yapılan araştırma, üretim ve deneysel ölçme faaliyetleri endüstriyel metrolojinin ilgi alanlarına girmektedir. Endüstriyel amaçlı kalibrasyon laboratuvarları kurmak ve konuyla ilgili araştırmalar yapmak üzere 132 sayılı kanunla Türk Standartlar Enstitüsü görevlendirilmiştir, [4].

Ülkemizde laboratuvar, belgelendirme ve muayene kuruluşlarını akredite etmek için 4 Kasım 1999 tarihinde yayımlanan 4457 sayılı Kanunla Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kurulmuştur. TÜRKAK'ın amacı ülkemizde bulunan ve teknik düzenlemelere konu olan ürün güvenliği, kalite, deney, muayene ve belgelendirme çalışmaları yapan laboratuvar ve belgelendirme kuruluşlarının yeterliliklerini tescil etmek ve uluslararası geçerliliklerini sağlamaktır, [2].

Ticarete esas teşkil eden ölçü ve kontrol aletlerinin kalibrasyonları kanuni metrolojinin alanına girmektedir. Bu kategoriye giren tüm cihazlar mecburi olarak kalibre ettirilmek zorundadır. Ülkemizde 3516 sayılı kanun kanuni metrolojiyi kapsar. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı bu konu ile görevlendirilmiştir.

3. Yasal Dayanaklar, Normlar

Ölçüler ve Ayar Kanunu

Ülkemizde her türlü ölçü ve ölçü aletlerinin doğru, ayarlı ve uluslararası birimler sistemine uygun olarak imalini ve kullanılmasını sağlamak amacıyla 11.01.1989 tarihinde yürürlüğe giren 3516 sayılı ÖLÇÜLER VE AYAR KANUNU bulunmaktadır. 3516 sayılı kanunun ikinci bölüm madde 9 da ölçü aletleri için ilk muayene, periyodik muayene, ani muayene, şikayet muayenesi ve stok muayenesini öngörmektedir.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) 15 Temmuz 2005 tarih ve 25876 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin onikinci bölümü madde 106'da haritacılık çalışmalarında kullanılacak jeodezik ölçme aletleri için "Bu yönetmelik kapsamındaki tüm jeodezik çalışmalarda, kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör kuruluşları tarafından kurulan ve teknik yeterliliği Türk Standartları Enstitüsü tarafından onaylanan standartlara uygun Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarları ve Test Ağları'nda iki yılda bir kontrol ve kalibrasyonu yapılarak, uygunluk belgesi alınmış aletler kullanılır." ibaresi kullanılmaktadır.

TSE tarafından verilen *Hizmet Yeri Yeterlilik Belgesi*; hizmet yerinin imkanlarının ilgili Türk Standardı ve/veya Türk Standardları Enstitüsü tarafından hazırlanmış olan kritere uygunluğunu gösteren ve aktedilen sözleşme ile kullanılabilen geçerliliği 1 yıl olan belgedir.

TSE tarafından talep edilen *Mekanik ve Dijital Topografik Aletlere Hizmet Yeterlilik Belgesi Verilmesine Esas Kriterler* incelendiğinde personelle ilgili kurallarda "Servis Teknik Sorumlusu en az Endüstri Meslek Lisesi (Elektrik, Elektronik, Makine) mezunu veya bu konuda eğitim almış Ustalık Belgesine sahip olmalıdır." şartı ve serviste bulundurulması gereken makine teçhizat listesinde osiloskop, düşeyde 3, yatayda 2 dürbünlü kolimatör ve muhtelif el aletleri bulundurulması şartı aranmaktadır.

Alman Standartlar Enstitüsü (DIN)

Alman Standartlar Enstitüsü (DIN) teknik, bilimsel ve özel yaşamla ilgili bir çok alanda standartlar oluşturan önemli bir standart kurumudur. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği ile belirlenmiş DIN standartları mevcuttur. DIN 18723 Jeodezik Aletlerin Doğruluklarının Araştırılmasında Arazi Yöntemleri başlığı altında 8 alt bölümden oluşmaktadır.

DIN 18723-1 Genel Bilgi	DIN 18723-5 Çeküller
DIN 18723-2 Nivolar	DIN 18723-6 Kısa Mesafe Elektrooptik Uzunluk Ölçerler
DIN 18723-3 Teodolitler	DIN 18723-7 Jiroskoplar
DIN 18723-4 Optik Uzunluk Ölçerler	DIN 18723-8 Dönel Lazer

DIN 18723 standartlarında ilgili jeodezik ölçme aletinin arazide kontrolünün nasıl yapılacağı detaylı bir şekilde örneklerle açıklanmaktadır.

Uluslararası Standard Organizasyonu ISO

Uluslararası Standard Organizasyonu ISO (International Organization for Standardization) 1947 yılında kurulmuş ve yaptığı standardizasyon çalışmaları sonucu sanayiye, ticarete ve tüketicilere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Her disiplin kendi içinde birtakım standartlar oluşturmakla birlikte kalite isteklerini karşılamak amacıyla ISO tarafından oluşturulan EN-ISO 9000 standartlarının ön önemli parçalarından biride ölçüm cihazlarının kontrol ve kalibrasyonudur. ISO bünyesinde faaliyet gösteren çok geniş bir alanı kapsayan 229 Teknik Komite mevcuttur. 172 numaralı Teknik Komitenin 6 numaralı Çalışma Grubu, Jeodezik Ölçme Aletleri ile ilgilenmektedir. ISO 17123 standartları 7 alt bölümden oluşmaktadır

ISO 17123-1 Genel Bilgi	ISO 17123-5 Elektronik Takeometreler
ISO 17123-2 Nivolar	ISO 17123-6 Dönel Lazerler
ISO 17123-3 Teodolitler	ISO 17123-7 Optik Çeküller
ISO 17123-4 Elektrooptik Uzunluk Ölçerler	

DIN 18723 standartları temel alınarak hazırlanan ISO 17123 standartları da jeodezik ölçme aletlerinin arazide kontrolünün nasıl yapılacağını açıklamaktadır.

Uluslararası Ölçmeciler Birliği FIG

FIG bünyesinde görev yapmakta olan 5 numaralı Konumlama ve Ölçme Komisyonunun Çalışma Grubu 5.1 Standartlar ve Kalibrasyon konusunda çalışmalar yapmaktadır. 1990 yılında Helsinki de düzenlenen XIX. FIG Kongresinde Çalışma Grubu 5.1'e elektrooptik uzunluk ölçerlerin rutin kontrolleri için öneriler hazırlanması görevi verildi. Çalışma Grubu 5.1 tarafından hazırlanan ve FIG tarafında yayınlanan No.9 1994 Teknik Raporunda elektronik uzunluk ölçerlerin kalibrasyonunun önemi vurgulanmakta ve kontrol ve kalibrasyonu yapılmamış aletler ile yapılan uygulamalarda karşılaşılan sorunlara ait örnekler verilmektedir. Bunun yanında raporda kontrol ve kalibrasyon işlemlerinin niçin, nasıl ve ne sıklıkta yapılması gerektiğine ilişkin öneriler bulunmaktadır.

4. Elektronik Uzunluk Ölçerlerin Kontrolü

4.1 Modülasyon Frekansı Hatası

Elektronik uzunluk ölçerlerde modülasyon frekansının üretilmesinde kullanılan kuvarslar sıcaklıktan etkilenmektedir. Sıcaklık dalgalanması hem dış etkilerden (günlük sıcaklık) hem de aletin içindeki elektronik parçaların ısınmasından kaynaklanmaktadır. Frekans değişiminin bir diğer nedeni de kuvarsin zamanla eskimesidir. Modülasyon frekansındaki meydana gelen değişim mesafeye bağımlı olarak uzunluk hatasına (ölçek hatasına) neden olmaktadır. Bu nedenle



Şekil 3. Frekans kontrol düzeneği

elektronik uzunluk ölçerlerin modülasyon frekansı belirli aralıklarla frekans ölçer ile belirlenmelidir. Bir aletin frekans kontrolünde alet, frekans ölçere ya doğrudan doğruya bir kablo yardımı ile bağlanmakta yada aletin sinyali harici bir diyotta gönderilmekte ve burada demodüle edilerek sinyal frekans ölçere aktarılmaktadır. Frekans değişimi nedeniyle ölçülere getirilecek düzeltme

$$K_F = D_{\text{Ö}} \frac{f_0 - f}{f} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada,

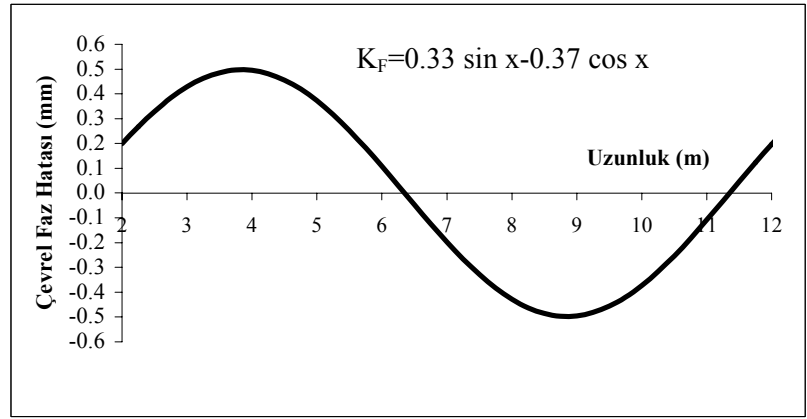
$D_{\text{Ö}}$: Ölçülen uzunluk,

f_0 :Referans sinyalinin frekansı

f : Ölçülen frekansı ifade etmektedir.

4.2 Faz Farkı Ölçme Hatası

Faz farkı ölçme hatası, elektriksel ve optik sinyal bindirmeden kaynaklanmaktadır. Elektronik uzunluk ölçerlerde sinyali gönderen ve yansıtıcıdan gelen sinyali alan ünite aynı bir yapı içinde bir birine yakın bulunduğu referans sinyalinin alınan sinyal üzerine elektriksel bindirmesi engellenmemektedir. Bu olay elektriksel bindirme olarak adlandırılmaktadır. Gönderici tarafından üretilen modüle edilmiş sinyal optik elemanlar tarafından yönlendirilir ve bu yönlendirme sırasında sinyaller bir birine karışmış olarak alıcıya gelir. Bu olay optik bindirme olarak adlandırılır. Elektriksel ve optik bindirmeler nedeniyle meydana gelen faz farkı ölçme hatası genellikle sinüs eğrisi şeklinde ve hassas ölçek periyodunda ortaya çıkmaktadır, [JOECKEL, STOBER 1995].



Şekil 4. TOPCON GTS 701'in faz farkı ölçme hatası [GÜLAL 2005]

Kısa mesafe uzunluk ölçerlerde faz farkı ölçme hatası en fazla ± 5 mm değerine ulaşmaktadır. İyi ayarlanmış elektronik uzunluk ölçerlerde faz farkı ölçme hatası 3mm'den daha küçüktür. Bu nedenle hassas uzunluk ölçmelerinde faz farkı ölçme düzeltmesi göz önünde bulundurulmalıdır, [WITTE, SCHMIDT 1995].

Periyodik olarak ve tam dalga boyunda ortaya çıkan faz farkı ölçme hatasının deneysel olarak belirlenmesinde en az hassas ölçek kadar hatta biraz daha uzun bir baz kullanılır. Baz üzerinde yansıtıcı Δl miktarı kadar kaydırılarak D_i mesafeleri ölçülür. Ölçülen uzunluklardan

$$K_F = K_1 \cdot \sin x + K_2 \cdot \cos x \quad (2)$$

$$x = D \frac{2\pi}{U} \quad (3)$$

faz farkı ölçme hatası hesaplanır.

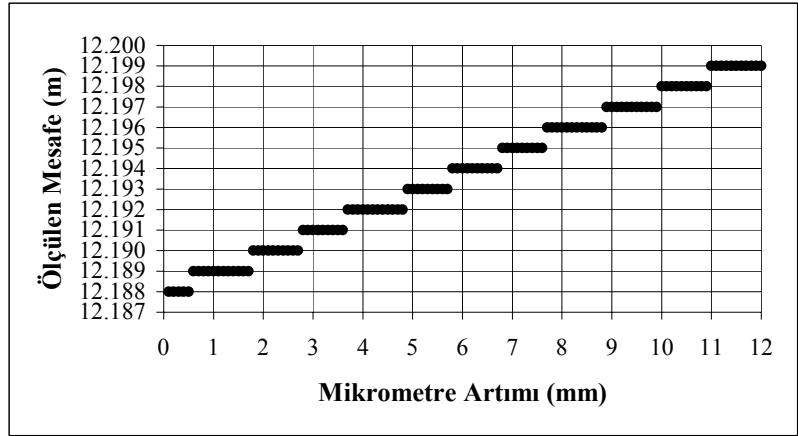
4.3 Sıfır Noktası Hatası

Elektronik uzunluk ölçerlerde elektriksel ve mekanik sıfır noktasının farklı olması, yansıtıcı merkezi ile sinyalin yansıtıcıdan yansıma yerlerinin farklı olması ve prizma içindeki zamansal gecikmelerden dolayı bir fark oluşmaktadır. Bu fark sıfır noktası hatası olarak tanımlanır. Sıfır noktası hatası özellikle kısa mesafelerin bağıl doğruluğunu etkilediği için bu hatanın belirlenmesi oldukça önemlidir. Sıfır noktası düzeltilmesi bir uzunluk ölçer ve yansıtıcı seti için verilmektedir.

Sıfır noktası hatasının belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem pilye şeklinde tesis edilmiş kalibrasyon bazında bütün kombinasyonları ile uzunluk ölçümü yöntemidir. Yapılan ölçülerin değerlendirilmesinde dolaylı ölçüler dengelemesi yöntemi kullanılmaktadır. Uzunluklar, bilinmeyen parça uzunluklar ve sıfır noktası bilinmeyeninin bir fonksiyonu olarak yazılır. UZEL 1981 de sıfır noktası hatasının belirleme yöntemleri açıklanmaktadır.

4.4 Faz Ölçü Sisteminin Çözünürlüğünün Belirlenmesi

Endüstriyel ölçme tekniğinde çözünürlük gücünden aletin yeteneği anlaşılmaktadır. Yani birbirine yakın iki ölçü değerinin farklı değerler olarak algılayabilme kabiliyetidir. Çözünürlük doğruluğu sinyal zayıflaması ve özellikle atmosferden geçerken sinyal biçiminin bozulması nedeniyle sadece faz ölçme sistemine değil atmosferin yapısına ve uzaklığı da bağlıdır. Yakın mesafe uzaklık ölçerlerde uygun koşullar altında çözünürlük doğruluğu 10^{-4} U olarak beklenebilir. Bu değerinde genellikle hassas ölçek olarak kullanılan $U=10m$ de $\pm 1mm$ 'lik bir faz ölçüm hatasına neden olmaktadır, [ÖZGEN, DENİZ 1988]].



Şekil 5. TOPCON GTS 701'in faz ölçme sisteminin çözünürlüğü

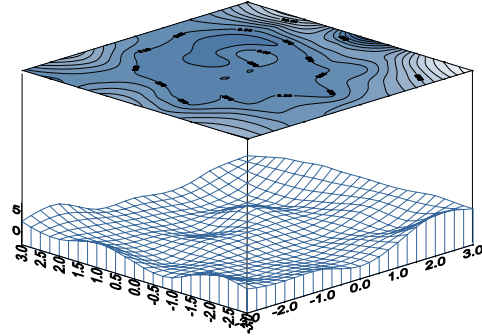
Elektronik uzaklık ölçerlerin çözünürlüğü, mesafe boyunca mikrometrik olarak hareket ettirilebilen bir yansıtıcıdan oluşan bir düzenek ile belirlenebilir. Yansıtıcı aletten yaklaşık 20-30m mesafede 0.1-0.2mm hareket ettirilerek ölçümler yapılır. Yansıtıcının ötelenmesi ile aletin ölçtüğü değerler arasında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

4.5 Faz'ın Homojen Olmaması (Yöneltme Hatası)

Faz'ın homojen olmamasından ışın konisindeki modüle edilmiş ışınların aynı anda aynı faz değerine eşit olmamaların anlaşılmaktadır.

Uzunluk ölçümünde ışın demetinin farklı bölümlerinin kullanılmasıyla yapılan faz farkı ölçmeleri uzunluk değişimlerine neden olmaktadır. Bir başka deyişle gönderilen ışın demetinin yayılma doğrultusuna dik doğrultuda farklı modülasyon fazlarına sahip olmasıdır.

Yansıtıcı ile elektronik uzunluk ölçer arasındaki mesafe sabit tutularak gözlem eksenini yansıtıcı üzerinde sabit bir açı ile yatay ve düşey doğrultuda hareket ettirilerek yansıtıcının yüzeyinin raster şeklinde taranmasıyla yöneltme hatası belirlenebilir. Bu durum pratikte yaprak ve dal gibi cisimlerin görüşü engellemesiyle ışın demetinin bir kısmının kullanılmaması ile ortaya çıkabilmektedir. Bu hata alet üretici firmaların kaliteli diyotları kullanması ile ve kullanıcıların da sinyal demetinin her zaman aynı kısmının kullanılmasına özen gösterilmesi ile elimine edilebilir. Yani ölçüm esnasında aletin sinyali maksimum seviyede alınacak şekilde yansıtıcıya hassas olarak yönlendirilmeli ve dürbün çok iyi ayarlanmalıdır.



Şekil 6. TOPCON GTS 701'in yöneltme hatası

5 Elektronik Takeometrelerin Kontrolü

Doğrultu ölçümlerindeki birçok hata ölçülerin iki dürbün durumunda yapılması ile elimine edilmektedir. Ölçülerin dürbünün her iki durumunda yapılması ile gözlem eksenini hatası, muylu eksenini hatası gözlem ekseninin dış merkezliği ve odaklama ile oluşan gözlem eksenini hatası ölçü sonuçlarını etkilememektedir. Etkisi düşey açıya bağlı olarak değişen teodolit hatalarının zamandan bağımsız düşünülemez. Ölçüye başlamadan önce belirlenen bu hatalar kinematik olarak yapılan ölçülere (tek dürbün durumunda) değerlendirme sırasında düzeltme olarak getirilmektedir. Bu şekilde yapılan ölçülerden elde edilen doğruluk teodolit hatalarının zamansal olarak değişmesi nedeniyle ölçülerin her iki dürbün durumunda yapılması elde edilen doğruluğa göre daha düşüktür, [Schwarz 1995].

5.1 Gözlem Eksenini Hatası

Gözlem eksenini hatası [Songu vd. 2003] gibi bir çok temel literatürde açıklanan yöntemlerle belirlenmektedir. Düşey açıya bağlı olan gözlem eksenini hatasının etkisi

$$K_G = \frac{c}{\sin z} \quad (4)$$

eşitliği ile belirlenir.

Burada,

K_G : Gözlem eksenini hatası düzeltmesi,

c : Gözlem eksenini hatası,

z : Düşey açıyı ifade etmektedir.

Birçok ölçme uygulamasında ölçme zamanında göz önünde bulundurarak ölçüler tek dürbün durumunda yapılmaktadır. Aynı şekilde yansıtıcıyı izleyebilen robot takeometrelerde de ölçüler tek dürbün durumunda yapılmaktadır. Bu gibi durumlarda gözlem eksenini hatası düzeltmesi hesaplanarak ölçülere

düzeltilme olarak getirilmelidir. Bir çok modern elektronik takeometrede gözlem ekseni hatası alete yüklenmiş olan kalibrasyon programları ile ölçülerden önce belirlenmekte ve ölçülen doğrultulara düzeltilme olarak getirilmektedir. Bu tür elektronik takeometrelerde düzeltilme değerlerinin güncelliği belirli aralıklarla (mümkünse her ölçüye çıkmadan önce) kontrol edilmelidir. Muylu ekseni hatası yatay düzlemde ($z=100$ gon) sıfır olduğu için gözlem ekseni hatasının belirlenmesinde hedef noktası mümkün olduğunca yatay düzlem üzerinde seçilmelidir.

Hedef noktalarının görüntüsü netlik ayarı vidası yardımı ile gözlem çizgileri düzleminde net olarak oluşur. Netlik ayar vidasının hareketi ile gözlem çizgileri tam olarak dürbünün optik ekseni boyunca hareket etmeyebilir. Ayrıca dürbünde tek taraflı olarak sıcaklık değişimlerinin meydana gelmesi gözlem eksenini değiştirmektedir. Schwarz 1995, bu hatanın özellikle endüstriyel ölçmelerde olduğu gibi kısa mesafede yapılan ölçmelerde etkili olduğunu belirtmektedir. Bu hatada ölçülerin her iki dürbün durumunda yapılması ve dürbün durumunun değiştirilmesinden sonra netlik ayarının değiştirilmemesi ile elimine edilmektedir. Bu nedenle özellikle kısa mesafelerde dizi yöntemi ile doğru ölçümünde ölçüler bir hedef noktasına her iki dürbün durumunda yapıldıktan sonra diğer noktaların ölçülmesine geçilmesi yararlı olacaktır.

5.2 Muylu Ekseni Hatası

Ölçüler üzerindeki etkisinin büyüklüğü düşey açığa bağlı olan muylu ekseni hatası da gözlem ekseni hatası gibi ölçülerin iki dürbün durumunda yapılmasıyla elimine edilmektedir.

$$K_M = i \cdot \cot z \quad (5)$$

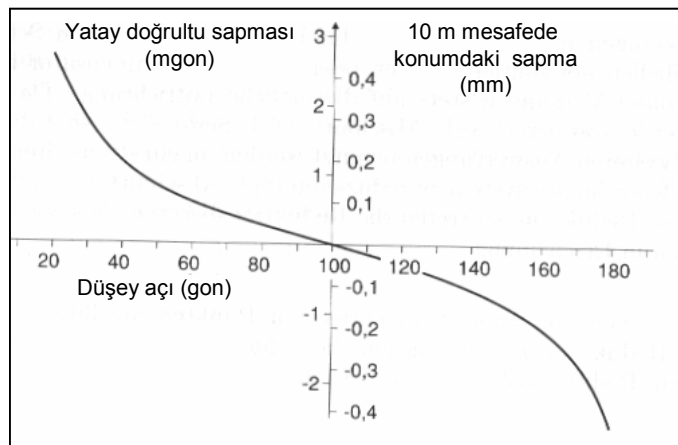
K_M : Muylu ekseni hatası düzeltmesi

i : Muylu ekseni hatası

z : Düşey açı

Schwarz 1995, dürbüne etkiyen sıcaklık veya elektronik parçalarda meydana gelen ısınma nedeniyle tek taraflı olarak dürbünde meydana gelen 1 K'lık sıcaklık değişimi nedeniyle muylu ekseninin 0.85 gon eğildiğini ifade etmektedir.

Şekil 7, 0.85 mgon'luk muylu ekseni eğikliğin 10 m mesafedeki yatay doğrultuya etkisini göstermektedir. Ölçülerin tek dürbün durumunda yapılması durumunda bu hata yatay doğrultulara yansacaktır.



Şekil 7. 0.85 mgon muylu ekseni eğikliğin yatay doğrultuya etkisi [Schwarz 1995]

5.3 Düşey Eksen Hatası

Aletsel bir hata olmayan düşey eksen hatası aletin düşey ekseninin tam çekül doğrultusunda olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hata iki dürbün durumunda ölçü yapmak gibi ölçme yöntemleri ile elimine edilemez. Düşey eksenin eğikliği biri gözlem eksenini doğrultusunda diğeri de buna dik doğrultuda olmak üzere iki bileşen ile ifade edilir. Düşey eksen eğikliği elektronik takeometrelerde üst yapıya yerleştirilen çift eksenli kompansatörlerle belirlenmekte ve ölçülen doğrultulara düzeltme olarak getirilmektedir. Muylu eksen yüksekliği 20 cm, kompansatörün çalışma aralığı 50 mgon olan bir elektronik takeometrede 0.16 mm düşey eksen hatası meydana gelmektedir, [Schwarz 1995]. Bu hata özellikle kısa mesafelerde aletin ölçü doğruluğunun üzerinde olmaktadır. Hassasiyet gerektiren ölçme çalışmalarında kompansatörlü aletlerde bile klasik düzeçlemeden vazgeçilmemelidir.

5.5 Bölümlenme ve Enterpolasyon Hatası

Elektronik takeometrelerin çalışma prensibi, klasik teodolitlerdeki okuma ve düzeçleme düzeneğinin bu aletlerde algılayıcılar tarafından gerçekleştirilmesidir. Elektronik takeometrelerde açı tablası klasik teodolitlerde olduğu gibi desimal çizgiler yerine elektrooptik yada manyetik kodlarla tanımlanmıştır.

Açı tablası kodların okunması ışık demetleri yardımı ile yapılmaktadır. Gönderilen ışık açı tablasının ışık geçirgenliğine göre algılayıcı fotodiyod da açık ya da koyu, yani 0 veya 1 olarak algılanır. Bu şekilde doğrultu değeri kabaca belirlenir. Doğrultunun hassas olarak elde edilmesinde elektronik mikrometre veya Moire çizgileri ile enterpolasyon yöntemi kullanılmaktadır.

Bölümlendirme hatası açı tablasının tamamında veya bir kısmında ortaya çıkabilmektedir. Bu hatayı minimize etmek için klasik teodolitlerde açı tablası kaydırılmaktadır. Elektronik takeometrelerin bazılarında açı tablasının döndürülmesi mümkün değildir. Döndürme imkanı olan aletlerde de bu işlemin gerçekten açı tablasının döndürülerek mi yoksa belirli bir değere sayısal olarak getirilerek mi yapıldığı bilinmemektedir. Bölümlendirme hatalarının belirlenmesinde teodolit kontrol aletleri kullanılmaktadır. HENNES vd 1993 enterpolasyon hatasının belirlenmesinde kontrol edilecek elektronik takeometreyi kontrol ve kalibrasyonu yapılmış daha yüksek doğruluklu bir teodolit üzerine hassas bir şekilde monte ederek bir düzenek oluşturmuştur. Yüksek doğruluklu master teodoliti küçük miktarlarda yatay düzlemde hareket ettirerek kontrol edilen aletin enterpolasyon hatasını ve çözünürlüğünü araştırmıştır.

5.6 ATR Sıfır Noktası Hatası

Otomatik hedef yakalama ATR modülü aletlerde gözlemci kabaca reflektörün bulunduğu yere cihazı yöneltmesinden sonra ATR prizmayı otomatik olarak bulup tam merkeze hedefler. Kıızıl ötesi ışın demeti reflektöre gönderilir ve ışın geri döner. Görüş alanı içerisindeki reflektörü bulmak için servo motorları yardımıyla, daire çapını küçülterek, spiral hareketi yapar. Işın demetinin reflektörden dönüşü algılandıktan sonra, teleskop prizmanın merkezine tam olarak hedeflenir. Teodolit dürbünü içine yerleştirilmiş CCD kamera hedefleme işlemini gerçekleştirmektedir. Objektiften geçerek netleştirme merceği üzerine düşen ışın demeti statya çizgileri önünde ikiye ayrılır. Işının bir kısmı okülerden geçerek hedeflemede kullanılır. Işının diğer kısmı ise ek prizma yardımıyla video kameranın CCD yüzeyine düşer.

CCD kameranın merkezi ile gözlem eksenini arasındaki fark ATR sıfır noktası hatası olarak adlandırılmaktadır. Yani gözle yapılan hedefleme ile ATR sistemi ile yapılan hedeflemeler arasındaki fark olarak ifade edilir. Bu hata hedeflemenin klasik olarak ve ATR modülü ile yapılarak farkın hesaplanabileceği gibi aletler içinde bulunan ayar programlarının yönlendirilmesi ile de belirlenmektedir.

Birçok alette gözlem ekseni, muylu ekseni ve ATR sıfır noktası hatasının bir arada ayar programları ile belirlenmesi mümkündür, [KRICKEL 2004].

7 Sonuç ve Öneriler

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri olarak yaptığımız çalışmayı çok genel olarak üç aşamada özetleyebiliriz. Bu aşamalar verilerin toplanması, işlenmesi ve sonuçların görselleştirilmesidir. Gerek verilerin işlenmesi gerekse sonuçların görselleştirilmesi toplanan verilerin doğruluğu ve kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Verilerin doğruluğu ve kalitesi ise büyük ölçüde veri toplamada kullanılan ölçme donanımına bağlantılıdır. İşte bu çerçevede ISO normları da veri toplamada kullanılan donanımın kontrol ve kalibrasyonuna ayrı bir önem vermektedir. Bu bildiri kapsamındaki sonuç ve önerileri aşağıdaki maddeler halinde özetleyebiliriz.

- Ölçme çalışmalarının metroloji bilimi çerçevesinde bir bütün olduğu ve jeodezik ölçmelerinde bunun bir parçası olduğu düşünülmelidir. Bu düşünce ile metroloji yelpazesinde kendimize bir yer bulmalıyız.
- Jeodezik ölçmeler konusundaki standartlar, kontrol ve kalibrasyon işleri metroloji kavramı çerçevesinde düşünülmeli ve değerlendirilmelidir.
- Yeni alet doğru ölçer düşüncesinin tamamen doğru bir düşünce olmadığını, aletin yeni de olsa mutlak suretle kontrolünün yapılması gerektiği ve kalibrasyon parametrelerinin kontrol edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.
- Elektronik uzunluk ölçerlerin kontrolünde faz farkı ölçme hatası, yöneltme hatası ve faz ölçü sisteminin çözünürlüğü kontrol edilmeli ve sıfır noktası hatası ve ölçek hatası değerleri belirlenmelidir.
- Ölçülen uzunluklara düzeltmelerin alet tarafından otomatik olarak yapılması isteniyorsa mutlak suretle ölçü yapılan ortamın sıcaklık ve basınç değerleri alete girilmelidir.
- Doğru ölçümünde ölçüler mümkün olduğunca her iki dürbün durumunda yapılmalı böylelikle bir çok hata elimine olmaktadır.
- Bir çok elektronik takeometrede alete programlanmış ayar programları bulunmaktadır. Bu programlar yardımı ile periyodik olarak eksen hataları belirlenmelidir.
- Elektronik takeometreler senede en az bir kez detaylı bir kontrolden geçirilmelidir.
- Aleti kullanan personel aletin sadece ölçme modu ile ilgilenmemeli aleti çok iyi tanıyıp belirli aralıklarla kendi oluşturduğu kontrol mekanizması ile temel basit kontrolleri yapmalıdır. Örneğin büroda veya arazide bir uzunluk ve açı belirleyip periyodik olarak belirlenen uzunluk ve açının ölçülmesi
- Şirket sahipleri ve kamu kurum idarecileri kontrol ve kalibrasyonun önemi ve bilincinde olmalı personelini bu konuda eğiterek aletlerin yetkili kişilere periyodik olarak kontrol ve kalibrasyonunu yaptırmalıdır.
- Üniversiteler gerek öğrencilerine gerekse meslektaşlarına bu konu ile ilgili eğitim vermeli, araştırmalar yapmalıdır.

Kaynaklar

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği,2005

DIN Taschenbuch 111 Vermessungswesen, 1998

FIG: Recommended Procedures for Routine Checks of Electrooptical Distance Meters FIG Publication Nr.9 1994

GÜLAL E.:Elektronik Ölçmeler Ders Notları, YTÜ İstanbul 2005

HENNES M., JURETZKO M.: Der Wild TC500 ein Tachymeter nur für den Bausektor?, VR 55/8 1993

JOECKEL R., STROBER M.:Elektronische Entfernungs und Richtungsmessung Stuttgart 1995

KRICKEL B.:Leistungskriterien zur Qualitätskontrolle von Robottachymetern, Bonn Üniversitesi Doktora Tezi, 2004

ÖZGEN G., DENİZ R.: Elektromagnetik Dalgalarla Jeodezik Ölçmeler, İstanbul 1986

SCHWARZ W.: Vermessungsverfahren im Maschinen und Anlagenbau, Stuttgart 1995

SONGU C., ŞERBETÇİ M., GÜLAL E.: Ölçme Bilgisi Cilt1 İstanbul 2003

UZEL T.: Jeodezik Amaçlı Elektromagnetik Ölçmeler, İstanbul 1981

VIM: Vocabularie International des termes fondamentaux et generaux de Metrologie,1993

WITTE B., SCHMIDT H.: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen, Stuttgart 1995

[1] <http://www.ums.com.tr/umsdosyalar/EAL-G12.pdf>

[2] <http://www.turkak.org.tr>

[3] <http://www.ume.tubitak.gov.tr>

[4] <http://www.tse.org.tr/>

[5] <http://www.iso.org>