T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAZER İNTERFEROMETRE İLE KOORDİNAT EKSENLİ ÖLÇÜM CİHAZI KALİBRASYONU

ASLI GÜNAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MALZEMESİ VE İMALAT TEKNOLOJİSİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. M. NUMAN DURAKBAŞA

İSTANBUL, 2011

ÖNSÖZ

Tüm öğrenim hayatım boyunca yanımda olan, maddi manevi her türlü desteğini sunan annem Memnune GÜNAY, babam Adnan F. GÜNAY'a ve abim Ali Rıza GÜNAY'a, değerli aileme, ayrıca yanımda olan sevdiklerim, arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum

Yüksek lisans tezim boyunca bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. M. Numan DURAKBAŞA'ya, zorlandığım noktalarda yardımını esirgemeyen Anabilim Dalımızın tüm öğretim görevlilerine teşekkür ederim.

Mayıs, 2011

Aslı GÜNAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

Şekil 2. 2 x
Şekil 2. 3 x
Şekil 4.12 x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1 16

GİRİŞ 16

1.1 Literatür Özeti 16
1.2 Tezin Amacı 17
1.3 Hipotez 18

BÖLÜM 2 19

METROLOJİ 19

2.1 Bazı Temel Terim ve Tanımlamalar 23

BÖLÜM 3 30

KALİBRASYON 30

3.1 Standartlarla Koordinat Eksenli Ölçme Cihazının Kalibrasyonu 31
3.1.1 ISO 10360 31
3.2 prEN ISO 10360-2 32

3.2.1 Ram eksenli prob ucu mesafesi sıfır olan problar ile uzunluk ölçümünde oluşan hata, E_0 33
3.2.1.1 Ölçüm Ekipmanı 34
3.2.1.2 Prosedür 34
3.2.2 Ram eksenli prob ucu mesafesi 150 mm olan problar ile uzunluk ölçümünde oluşan hata, E_{150} 37
3.2.2.1 Ölçüm ekipmanı 37
3.2.2.2 Prosedür 37
3.2.2.3 İki Ramli Koordinat ölçme makineleri 39
3.2.2.4 Özelliklere Uygunluk 40
3.2.2.4.1 Kabul Kriterleri 40
3.2.2.4.2 Data alımı ve ölçümlerin tekrar edilmesi 41
3.2.2.5 Kalibre Edilmiş Bir Test Uzaklığını İfade Eden Artefaktlar 42
3.2.2.5.1 İki Yönlü Ölçümler 43
3.2.2.5.2 Tek Yönlü Ölçümler (İki yönlü ölçümlerle desteklenmelidir) 45

BÖLÜM 4 48

ÖLÇME İŞLEMİNDE HATA VE BELİRSİZLİKLER 48

4.1 Ölçüm Belirsizliği Neden Önemlidir 48
4.2 Ölçüm Belirsizliğinin Tarihsel Gelişimi 50
4.3 Bazı Terimler ve Tanımları 51
4.4 ISO 14253 Standardı ile Ölçme Belirsizliği 59
4.5 Belirsizlik Yönetimi için Prosedür – PUMA 61
4.6 Ölçme Prosedürünün Gelişmesi ve Dizaynı İçin Belirsizlik Yönetimi (Raporu) 64
4.7 Ölçme İşleminde Hata ve Belirsizlik Kaynakları 67
4.8 Belirsizlik Bileşenlerinin, Standart Belirsizliğin ve Genişletilmiş Belirsizliğin Bulunmasında Kullanılan Yöntemler 73
4.9 Hata Limitleri İçin Dönüşüm Gereçleri 76
4.10 Ölçüm belirsizliğinin Doğrudan ve Dolaylı Ölçme Modelleri ile Değerlendirilmesi 81
4.10.1 Direkt Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması-Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi, u_c 82

BÖLÜM 5 85

KOORDİNAT EKSENLİ ÖLÇÜM CİHAZI 85

5.1 Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı 86
5.2 Koordinat Ölçme Cihazı Türleri 93
5.2.1 Kartezyen Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazları 93
5.2.2 Kartezyen Olmayan Koordinat Ölçüm Aletleri 102

BÖLÜM 6 104

KOORDİNAT EKSENLİ ÖLÇÜM CİHAZLARININ KALİBRASYONUNDA 104

KULLANILAN EKİPMANLAR 104

5.3 Mastarlar 104
5.4 Lazer İnterferometre 108

BÖLÜM 7 111

LAZER İNTERFEROMETRE İLE KOORDİNAT EKSENLİ ÖLÇÜM CİHAZI KALİBRASYONU 111

6.1 Prosedür 111
6.1.1 Belirsizliğin Hesaplanması 118
6.1.1.1 Lineerlik Hatası 119
6.1.1.2 Dalgalanma Belirsizliği (Roll) 126
6.1.1.3 Sapma Belirsizliği (Yaw) 127
6.1.1.4 Diğer Belirsizlik Bileşenleri 128
6.1.1.5 Birleşik Belirsizlik Değerinin Hesaplanması 132
6.1.1.6 Doğrulama 136
6.1.1.7 Belirsizlik Raporu 138
6.2 Aynı Cihazın Önceki Kalibrasyon İşlemi Verileri 140
6.2.1 Belirsizliğin Hesaplanması 140
6.2.1.1 Lineerlik Hatası 140
6.2.1.2 Dalgalanma Belirsizliği (Roll) 142
6.2.1.3 Sapma Belirsizliği (Yaw) 143
6.2.1.4 Birleşik Belirsizlik Değerinin Hesaplanması 144

BÖLÜM 8 149

SONUÇ VE ÖNERİLER 149

KAYNAKLAR 153

ÖZGEÇMİŞ 156

SİMGE LİSTESİ

$\bar{\bar{x}}$	X-Şeması orta noktası
$\bar{x}_j$	n büyüklüğündeki J örneğinin ortalaması
$\bar{x}_n$	n örneğinin sayısal değeri
N	Ölçülebilir değerlerin toplam sayısı
$\sigma_{\bar{x}}$	Standart sapma
$S_{\bar{x}}$	Örneklerden hesaplanan standart sapma
$\bar{R}$	R-Şeması orta çizgisi
R_N	n örneğinin sayısal değeri
S_p	Binom dağılımının standart sapması
x	İstatistiksel dağılım
μ_x	İstatistiksel dağılımın ortalama değeri
$f(x)$	İstatistiksel dağılım fonksiyonu
σ_x^2	İstatistiksel dağılım değişimi
Mm	Milimetre
α	Isıl genleşme katsayısı
C	Düzeltme
D	Ölçme cihazının çözünürlüğü
E	Elastiklik modülü
ER	Hata
G	Ölçüm sonuçlarının foksiyonu
h	Histerisis değeri
k	Güvenlik katsayısı
m	Güvence aralığının yarısındaki standart sapmaların sayısı
MR	Ölçüm sonucu
n	Herhangi bir niceliğin sayısı
N	İterasyon sayısı
V	Poisson sayısı
P	Birbirlerinden bağımsız belirsizlik etkenlerinin sayısı
R	Birbirleriyle ilişkili belirsizlik etkenlerinin sayısı
ρ	Düzeltme katsayısı
TV	Ölçümün gerçek değeri

u_x	Birleşik stnadart belirsizlik
u_{xx}	XX numaralı belirsizlik etkenlerinin standart sapması
U	Ölçüm sonuçlarının genişletilmiş belirsizliği
U_{EN}	N sayıdaki iterasyonun yaklaşık belirsizliği
U_T	Hedef belirsizlik
U_V	Belirsizlik değeri

KISALTMA LİSTESİ

CGPM	Conférence Générale des Poids et Mesures
KEÖC	Korrdinat Eksenli Ölçüm Cihazı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
GMÖ	Geometrik Mamül Özellikleri
GUM	Guide to Expression of Uncertainty in Measurement
PUMA	Procedure of Uncertianty in Measurement
ISO	International Organization for Standartization
ANSI	American National Standards Institute
ASQC	American Society of Quality Control
BSI	British Standartization Institute
DIN	Deutsches Institut für Normung
CEN	European Committee for Standardization
CIPM	Comite International des Poids et Measures
BIPM	Bureau International des Poids et Measures
CMM	Coordinate Measuring Machine
GPS	Geometrical Product Specifications
TS	Technical Specification
ASME	American Society of Mechanical Engineering
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Uluslararası metroloji ve kalibrasyon organizasyonu……...22
Şekil 2. 2 Standart kullanıcıları yapısı
(DeWayne B. Sharp Measurement Standards) 24
Şekil 2. 3 İzlenebilirlik çemberi ……..29
Şekil 3.4 Ölçme kollu problama sistemi kullanıldığı zamanki ram ekseni prob ucu mesafesi örnekleri……..……..……..…33
Şekil 3. 5 E_{150} test prosedürü için dört muhtemel prob yöneliminin ikisi ve dört muhtemel test mesafesi pozisyonunun ikisi…….……..……..38
Şekil 3.6 İki Yönlü Ölçüm Örnekleri……..…….43
Şekil 3.7 Tek yönlü ölçüm örnekleri……..……..……..…45
Şekil 4. 8 Rastlantısal ve Sistematik Hataların Gösterimi……..…..…53
Şekil 4. 9 Ölçmenin Uygunluk Bölgesi…….……...……..57
Şekil 4. 10 Ölçme İşleminin Uygunsuzluk Bölgesi……..……..…..…58
Şekil 4. 11 Belirsizlik aralığı……..…….…...……..58
Şekil 4.12 Bir ölçüm prosesinin ölçüm sonucunun belirsizlik yönetimi …..…….....62
Şekil 4.13 Belirsizlik raporu yönetimi (ISO TS 14253-2, 1999)……..……..….....…66
Şekil 4.14 Ölçme işleminin hata tipleri……...….....67
Şekil 4.15 Ölçme İşleminin Belirsizlik Bileşenleri……...……..…69
Şekil 4.16 Normal dağılım, dikdörtgen dağılım ve U tipi dağılım (ISO 14253-2)…..77
Şekil 5.17 Koordinat Metrolojisinin Doğası…...……..…86
Şekil 5.18 Probun Yapısı (ISO 10360)……...……..……..…87
Şekil 5.19 Koordinat Ölçme Cihazı Sistemi Kısımları [22]……iii……....…93
Şekil 5.20 Kartezen sistemde hareket yönelimleri…….…….….93
Şekil 5.21 Hareketli Köprülü KÖM……..……....96
Şekil 5.22 Hareketli Köprü Tipi KEÖC……..……..…97
Şekil 5.23 Cantilever (Dirsekli) Sistemi……...…….……..……98
Şekil 5.24 Hareketli Mesnetli, Yatay kollu KÖM……..……..……..….99
Şekil 5.25 Hareketli Mesnetli, Yatay kollu KÖM……...…..…..……...100
Şekil 5.26 Kızaklı- Gezer Köprülü KEÖC……..……..…....101
Şekil 5.27 Kızaklı- Gezer Köprülü KEÖC……..……..…....101
Şekil 5.28 Oynar kol sistemli CMM……..……..……....102
Şekil 5.29 Altı serbestlik derecesi gösterimi……..…….....…..102
Şekil 6.30 Mastar blok set…….……..……....….....….105
Şekil 6.31 Kullanılan farklı mastarlar……..……....…..…106
Şekil 6.32 Yüzyılda Jacob Bar yöntemiyle mesafe ölçümü……..……...….108
Şekil 6.33 Lazer İnterferometre çalışma prensibi……..……...….....….109
Şekil 6.34 Lazer ışınının izlediği yol……..……..... 110

Şekil 6.35 Lazer ışını ile referans lazer ışını arasındaki girişim farkı…..……...110
Şekil 7.33 Etalon blok üzerinde manometre ile sapma değerinin belirlenmesi....112
Şekil 7.34 Etalon blok üzerinde manometre ile sapma değerinin belirlenmesi....112
Şekil 7.35 Etalon blok üzerinde manometre ile sapma değerinin belirlenmesi…112
Şekil 7.36 Prob ucu kalibrasyonu……..…….…….....115
Şekil 7.37 Lazer İnterferometre ile kalibrasyon işlemi…….…….....….115
Şekil 7.38 Lazer interferometre ile lineerlik kalibrasyonu……116
Şekil 7.39 Lazer interferometre ile linnerlik kalibrasyonu, şematik gösterim...…117
Şekil 7.40 Kullanılan Mastar…….……..….....…138
Şekil 7.41 Mastar ile doğrulama işlemi…….……..…….....139
Şekil 7.42 Belirsizlik raporu yönetimi (ISO TS 14253-2, 1999)……...……..139
Şekil 7.43 Ölçme işleminin hata tipleri……...…….…….…140

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Hacim İçinde Prob Yönelimleri…….....35
Çizelge 4.2 %95 güvenlik katsayısıyla Student's t değeri Ölçme Noktaları ve Prob Yönelimleri…..…….……...……38
Çizelge 4.3 Ölçüm sayısına göre hesaplanmış olan güvelik kat sayısı, h……....75
Çizelge4.4 Konvansiyonel KÖM ile Nano-KÖM'in çeşitli özelliklerine göre karşılaştırılması(Takamasu vd., 1996)…….…75
Çizelge5.4 Konvansiyonel KÖM ile Nano-KÖM'in çeşitli özelliklerine göre karşılaştırılması(Takamasu vd., 1996)…….....94
Çizelge 6.5 Lazer interferometre ölçüm hassasiyeti…….……..109
Çizelge 7.6 x ekseni için veriler…….……120
Çizelge 7.7 x ekseni için grafik.……121
Çizelge 7.8 y ekseni için veriler……...……..123
Çizelge 7.9 y ekseni için grafik……...…….……..124
Çizelge 7.10 z ekseni için veriler ……...…….……...…….……125
Çizelge 7.11 z ekseni için grafik……...……...…..……..……126
Çizelge 8.12 x,y,z ekseni verilerinin karşılaştırılması ……..…….....154

ÖZET

LAZER İNTERFEROMETE İLE KOORDİNAT EKSENLİ ÖLÇÜM CİHAZI KALİBRASYONU

Aslı GÜNAY

Makine Mühendisliği Bölümü

Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilimdalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M.Numan DURAKBAŞA

Gün geçtikçe endüstride ve laboratuarlarda Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı'nın kullanım oranı artmaktadır. Bunun en önemli sebebi hassasiyeti ve kullanım esnekliğidir. Gelişen teknoloji ile endüstriyel ve laboratuar alanında kalite gerekliliklerinin sağlanması amacıyla ölçme ve kontrol cihazlarına ve bu cihazlara olan güvenilirliğine ihtiyaç kaçınılmazdır. KEÖC' larının yüksek hızda problaması, ölçüm hassasiyetini, ölçüm doğruluğunu standartlar kontrolünde koruması gerçekleştiği sürece güvenlidir. Cihazın takip edilebilirliğinin sağlanması önemi de gelişen teknoloji ile birlikte artmıştır. Güvenirliği koruma işlemi de standartlar vasıtasıyla periyodik kalibrasyonlar ve doğrulama işlemleri ile gerçekleştirilebilinir.

Bu çalışmada ilk olarak kalite, standardizasyon ve yapısı, kullanılan terimler ve açıklamaları üzerinde duruldu. Sonrasında kullanılan ISO standartları aracılığıyla (ISO 14253, ISO 10360)

Koordinat eksenli Ölçüm Cihazı kalibrasyonu anlatıldı. KEÖC ve kalibrasyon işlemi sırasında kullanılan lazer interferometre cihazı anlatıldı. Son olarak Lazer interferometre ile KEÖC kalibrasyonu anlatıldı.

Uygulama kısmında ülkemizde gerçekleştirilen bir kalibrasyon işlemi örnek alınarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemi anlatıldı. Uygulama kısmında gerçekleştirilen

kalibrasyon işlemi ile standartlar aracılığıyla anlatılan kalibrasyon işlemi arasındaki farklar irdelendi.

Anahtar kelimeler: Koordinat eksenli ölçüm cihazı, lazer interferometre, belirsizlik, uluslararası standardizasyon organizasyonu (ISO)

ABSTRACT

COORDINATE MEASURING MACHINE CALIBRATION with LASER INTERFEROMETRY SYSTEM

Aslı GÜNAY

Department of Mechanical Engineering

Materials and Manufacturing Technologies

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. M. Numan DURAKBAŞA

Day by day usage ratio of the Coordinate Measuring Machines increases for industries and laboratories. Measuring flexibility and accuracy of CMM have the most important role for this increment. The improving technology comes together with the need for more reliability and accuracy to the measuring machines. Coordinate Measuring Machines can be reliable only when they are traceable with national standards. The importance of the traceability also increases with the technology. To provide this traceability there is need to make periodical calibrations and correction.

In this study firstly I state the standardization and structure of standard organizations and the terms used in this area. Secondly I give information about the CMM calibration procedure according to the standards (ISO 14253, ISO 10360). I also give information about the coordinate measuring and laser interferometer machines structure and working principles.

In the last part I make an example calibration procedure with a firm which was service firm of the manufacturer's company.In this part a cleared the differences of the calibration standards and the calibration procedure which was made by the manufacturer serving firm.

Key words: Coordinate Measuring Machines, lazer interferometry, uncertainty, international orginisation for standardization(ISO)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ölçme bilimin ayrılmaz bir parçasındır, bir anlaşma veya konuşma bilimi olarak tanımlanır. Bu anlaşma bilimi sayesinde bir cismin boyutları miktarı, konumu ve zamanı kolayca bulunabilmektedir. Ölçme bir cismin varlığı, büyüklüğü ve benzeri özellikleri görme ve dokunma yoluyla belirlenmekteydi. Ancak bu ölçüm, göre ve dokunan kişilerin değerlendirme kabiliyetine göre değişmekte ve bu değişkenliklerin belli bir sınırı bulunmamaktadır. Bu farklı değerlendirmeyi ortadan kaldırmak, her ölçümün belli standartlara göre yapılmasını sağlamak amacıyla standart sistemi geliştirildi. Bu sistem, devletlerarası anlaşma veya konuşma lisanı haline getirilerek uluslararası ölçü standartları oluşturulmuştur.

Ölçmenin tarihsel gelişimine bakıldığı zaman insanların ihtiyaçları doğrultusunda gelişim sürecinin hızlandığını görebiliriz. Örneğin piramitlerin inşası sırasında temel ölçüm standartlarına ve aletlerine ihtiyaç duyulmuştur. Çiftçiliğin başlaması ve bunu izleyen toprak sahipliği ile birlikte uzaklık ölçümlerine ihtiyaç duyulmuştur. Dünyanın keşfi sırasında hassas navigasyon tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur. Savaşların başlamasıyla birlikte askeri teknolojisi gelişmeye başlamış ve bu alanda ölçme tekniği ihtiyacı baş göstermiştir. Askeri silahlara güvenirliği artırmak ve bakımını kolaylaştırmak amacıyla değişebilir parçalar kullanılmaya başlanıldı. Bu değişebilir parçaların kullanımı şablon bloklarının ve fonksiyonel blokların gelişimine sebep olmuştur.

Bugünün uzunluk ölçüsü olan metrik sistemin birimi metredir. Yani kutuptan ekvatora kadarki meridyen uzunluğunun on milyonda biridir. Bu ölçü Fransızlar tarafından, Mısır

işgalinden kısa süre önce ortaya çıkarılmıştır. Piramidin ölçüsü olarak kullanılan kübit ise, eski Mısırlıların kullandığı ölçüdür ve Fransızların biriminden binlerce yıl önce bulunmuş bir birimdir. Görüldüğü gibi ölçmenin tarihi M.Ö. 3000 yıllarına kadar uzanmaktadır. O zamanki uzunluk ölçü biriminin 'KÜBİT' olduğu herkesçe kabul edilmiştir. Bir 'KÜBİT', dirsekten orta parmak ucuna kadar olan mesafedir. Bir kübit'in uzunluğu bir metreye çok yakın olmakla birlikte, metreden daha dakik bir birimdir. Çünkü bu ölçü herhangi bir meridyen çevresine değil, kutup ekseninin uzunluğuna göre hesaplanmıştır. Meridyen uzunlukları, dünya çevresine göre değişebilmektedir [1], [2].

Bu çalışmada da ölçme biliminin önemi temel alınarak standartlar aracılığıyla Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazının kalibrasyon işlemi anlatılmıştır. Sonrasında Endüstriyel alanda gerçekleştirilmekte olunan bir kalibrasyon prosedürü ele alınmış her bir prosedür basamağı incelenmiş olunup değerlendirme yapılmıştır. Bu veriler sonuç ve öneriler kısmında değerlendirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı için günümüz kalite sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olan kalibrasyon prosedürü incelenmiş olup, işlem üzerinde yapılabilecek muhtemel iyileştirmeler üzerinde durulmuştur. Prosedür adım adım işlem için hazırlanmış olan standartlara uygun bir şekilde takip edilerek gerçekleştirilmiştir. İşlem endüstriyel alan ve laboratuar ortamlarında karşılaştırılmış ve farklılıklar gözlemlenmiştir. Her iki ortamda da uygulamalar gerçekleştirilip yapılabilinecek muhtemel iyileştirmeler araştırılmıştır.

Sadece bu cihazlar için değil günlük hayatta ölçüm yapmak ve herhangi bir büyüklüğü, o büyüklüğün birimi ile karşılaştırmak işlemi ile farkında olarak veya olmadan çoğu kez karşılaşıp ölçme yapmadan birçok işlemlerimizi gerçekleştirememekteyiz. Alacağımız ürünü standart birimi ile karşılaştırıp miktarını ve fiyatını tespit etme ihtiyacı, ölçme işlemini zorunlu kılan bir faktördür. Elektriksel büyüklüklerinin ölçülmesi, yani kendi birimi ile karşılaştırmasını da zorunlu kılan faktörler mevcuttur. Bunlar: Harcanan elektrik enerjisini ölçmek, alıcının çalışma standartlarına uygun elektriksel büyüklükler ile çalışıp çalışmadığını kontrol ederek sürekli ve kesintisiz çalışmayı sağlamak, ölçülen elektriksel büyüklüğün değerine göre istenmeyen durumlar için önlem almak, elektrik ve elektronik elemanlarının sağlamlık kontrolünü yapmak, devre veya devrelerde arıza tespiti yapmak ve enerji olup olmadığını kontrol etmek bu zorunluluğu meydana getiren faktörlerden bazılarıdır. Örneğin

bir pilot uçağının irtifasını, yakıt tüketimini, hızını, bir şirket aldığı ham madde miktarını, bir ilaç firması ürünlerindeki kimyasal oranlarını bilmesi hayati bilgilerdir. Bu örneklerin sayısını o kadar çoğaltmak mümkündür ve bu ölçme işlemi hayatımızın her noktasında bizimle birlikte mevcut ve hayatımızın vazgeçilmez parçasıdır. O halde doğru ve güvenilir bir ölçme işlemi hayatımızda çok önemli bir yere sahiptir. Günümüzde bireyler bu tip istedikleri bilgilere kolayca, güvenilir bir şekilde ulaşabilmektedir. Oluşturulan standartlar sayesinde bu işlem sistematik bir hale getirilmiştir.

Bu sistematik ölçümlerin endüstriyel alanda da yaygınlaştırılması sayesinde endüstriyel kalite artırılmış üretim harcamaları yaklaşık %10-15 oranında azaltılmıştır [3].

1.3 Hipotez

Koordinat Eksenli ölçüm Cihazı kalibrasyon prosedürü öncelikle TSE standartlarında belirtilen kalibrasyon prosedürüne göre açıklanmıştır. Daha sonra işlemin belirsizlik hesaplamasının anlatıldığı ilgili standart anlatılmıştır. İlgili standartın belirsizlik hesaplamasıyla ilgili formülleri açıklayan kısmı TSE'de bulunmamakla birlikte bu hesaplamalar üretici firmanın ağladığı yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel alanda gerçekleştirilen bir kalibrasyon işlemi gözlemlenildiğinde üretici firma direktifleri ile prosedürün gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. İşlem bu şekilde sorunsuz bir şekilde servis firmalar gerçekleştirmektedir. Çalışmada kullanıcı kişilerin gerçekleştirdiği kalibrasyon işlemde kullanıcıya her işlem basamağında daha ayrıntılı bir şekilde bilgi veren prosedürlerin kalibrasyon işlemi maliyetlerini düşüreceği, verimi ve ölçüm kalitesini artıracağı savunulmaktadır.

BÖLÜM 2

METROLOJI

Bilindiği gibi metroloji bir ölçüm bilimidir. Ölçümle ilgili her şey metroloji alanının için de yer alır. Bir testin dizayn edilmesi, yürütülmesi ve test sonuçlarının analiz edilmesi buna örnek olabilir. Metroloji görülenden daha geniş bir alandır, ilk bakışta düşünülen çok şey metroloji ile bağlantılı olarak gruplandırılabilir. Metroloji içerisinde birçok farklı disiplin içeren bir alandır. Metroloji matematik, sitatik, istatistik, fizik, kimya, kalite, bilgisayar bilimleri gibi birçok alanın işbirliği içerisinde çalışmasıyla gerçekleştirilen bir uygulamadır.

Metroloji için belirlenmesi gerekli olan önemli nokta ise ölçümü yapılan objenin veya olayın temel ölçüm yönteminin belirlenmesi, atanan değerleri ve bu değerlerin doğruluğudur. Bu gereklilikleri karşılayabilmek için ölçme metotları, ölçme sistemleri, ölçme kapasiteleri, ölçme veri, ölçme aletleri teknik özellikleri, ölçme standartları kullanımı gibi tanımlamalar yapılmıştır. Bir zincir en zayıf halkası kadar güçlüdür sözünden de hatırlayacağımız gibi metroloji tanımları da birbirinden ayrılamaz. Bu tanımların her biri önceden varsayımlarla, deneylerle belirlenip sınıflandırılmıştır. Metroloji temelleri insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacına dayanmaktadır. Matematik dünya genelinde ortak bir dil olarak kabul edildiği için metroloji günlük yaşantımızdaki bilgi akışını kolaylaştırmaktadır [4].

Günümüzde, hedeflenen kalitenin elde edilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem, belirli standartlara dayanan kalite güvence sisteminin kullanılmasıdır. Bu sistemin bir bütün olarak ele alınmasını, değişik yerlerde üretilen parçaların belirli standartlara uymasını ve dolayısı ile bir ölçü birliği içinde üretimin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluk

ölçümlerde kullanılan sistemlerin belirli referans sistemlere bağlanması şeklinde ortaya çıkmış ve bu fikir modern metrolojinin temelini oluşturmuştur.

Metrolojinin temel prensip ve içeriği bilinen bir büyüklük veya değerin bilinmeyen bir büyüklük veya değer ile karşılaştırma yöntemiyle belirlenmesi ihtiyacından doğmuştur. Belirli birimlere ihtiyaç duyulmuştur. Günlük yaşantımızda kullandığımız her objeyi veya kavramı belirlenen bu birimlerle bir şekilde ilişkilendirebiliriz.

Bu birimler karşılaştırma işlemleri daha parlak, daha büyük, daha uzun gibi tanımlamaların önüne geçmiş ve bize daha kesin ve net bilgiler veren matematiksel ifadelere ulaşmamızı sağlamıştır [1],[5].

Metrolojide doğru bir şekilde gerçekleştirilen ölçme işlemi ticari, ahlaki ve sosyal boyutları olan bir konudur. Doğru bir şekilde gerçekleştirilmemesi durumu insan hayatını, toplumsal ilişkileri, milletlerarası ilişkileri etkileyerek sonuçlara sebep olabilecek bir konudur. Bu sebeple ölçme işlemi ortak dilde hareket eden bir sistem ve birim olmalıdır

Metroloji alanında ölçüm faaliyetleri üç başlıkta açıklayabiliriz;

- İlmi metroloji,
- Endüstriyel metroloji,
- Kanuni (legal) metroloji olarak ilgi sahalarına göre farklılık arz eder.

İlmi Metroloji,

CGPM tarafından oluşturulmuş kararlara göre teorik tanımları yapılmış fiziksel büyüklüklerin primer yani birincil standartlarının oluşturulmasıdır. Türkiye'de bu alanda TUBİTAK çalışmaktadır. Bu işlemin en önemli aşaması, üretim sırasında ve sonrasında yapılan ölçümlerin uluslararası geçerliliğinin sağlanmasıdır. Bir ülkede yapılan test, analiz ve kalibrasyon gibi ölçümlerin uluslararası alanda kabul görmesi, o ülkede faaliyet gösteren ölçme sisteminin diğer ülkelerce tanınmasına bağlıdır. Türkiye, dünyadaki gelişmelere uygun olarak ölçme alanındaki faaliyetleri koordine etmek ve Türkiye'de yapılan ölçümleri güvence altına alarak uluslararası sisteme entegrasyonunu sağlamak amacıyla 1992 yılında TÜBİTAK bünyesinde Ulusal Metroloji Enstitüsü'nü (UME) kurmuştur [6].

Endüstriyel Metroloji (Endüstriyel Kalibrasyon)

Ilmi metroloji sonucunda elde edilen primer standartlara bağlı olarak araştırma, üretim ve deneylerde yapılan ölçme faaliyetidir. Kalibrasyonun yapılması ve/veya yaptırılması tamamen

ihtiyaridir. TSE,132 sayılı kanunun verdiği yetkiye istinaden endüstriyel amaçlı ölçümleme laboratuarları kurmak ve konuyla ilgili araştırmalar yapmak üzere görevlendirilmiştir.

Kanuni (Legal) Metroloji

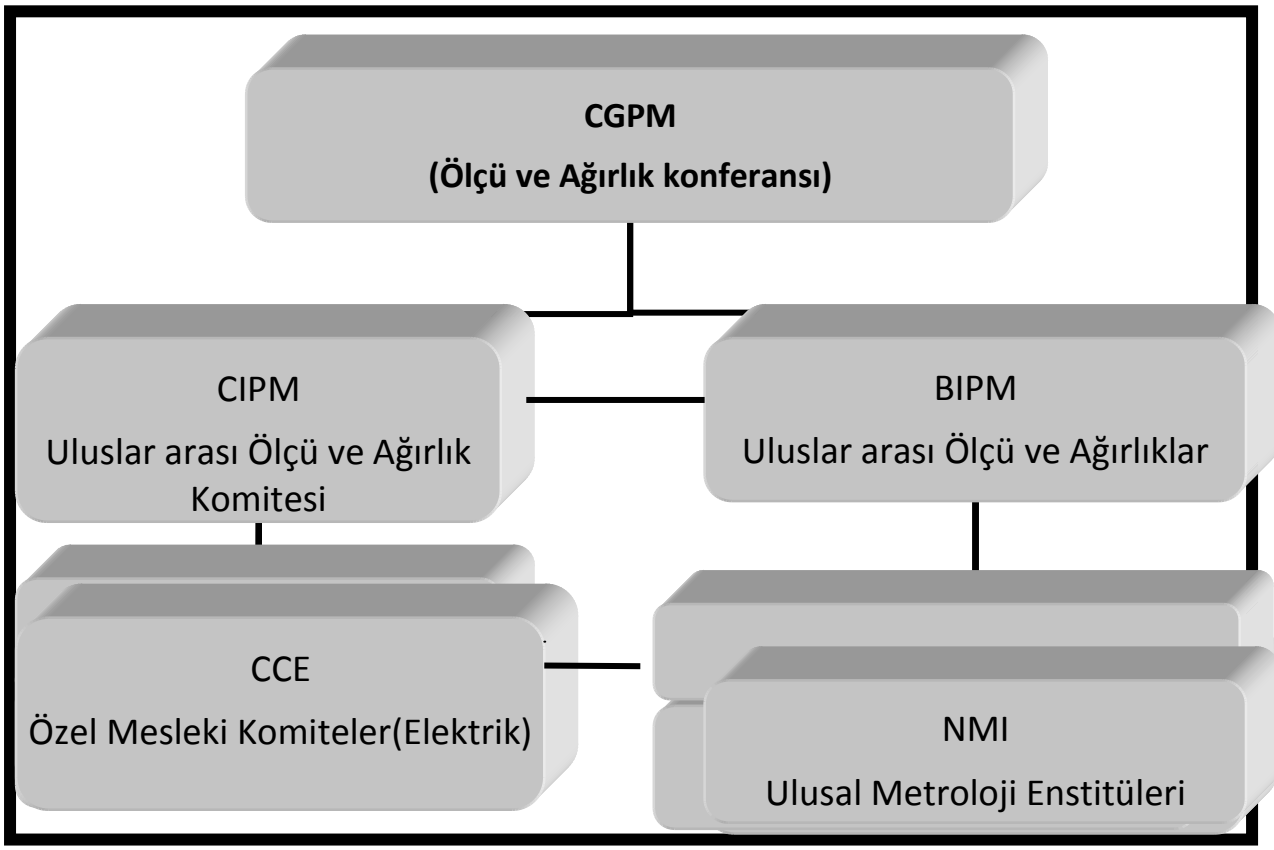
Ticarete alanında kullanılan ölçü ve kontrol aletlerinin kalibre edilmesiyle ile ilgilenir. Bu kategoriye giren tüm cihazlar zorunlu olarak kalibre ettirilmek zorundadır. Ülkemizde 3516 sayılı kanun legal metrolojiyi (kalibrasyon) kapsar. Türkiye ‘de bu konuda Sanayi ve Ticaret Bakanlığı görevlendirilmiştir.

Arz edildiği üzere metroloji konusu ferdi, bölgesel veya milli olarak bahsedilse de milletlerarası vasfa sahip olmaya mecburdur.

Metre Konvensiyonu

Metre konvansiyonu olarak bilinen antlaşma Paris'te (aralarında Osmanlı İmparatorluğu'nun da bulunduğu 17 ülke arasında) imzalandı.1889 yılında arşiv metre ve kilogram referans alınarak imal edilen metre ve kilogram prototipleri metre konvansiyonunu imzalayan ülkelerin referansları olmak üzere gönderildi. Oldukça önemli bir gelişme olan bu konu şavaşlar sebebiyle sekteye uğramış, alınmış olan prototiplerde maalesef kullanılamamıştır. Sonrasında Türkiye Cumhuriyeti’nin kurulmasıyla bu konuya tekrar dikkat edilmiş ve prototipler tekrar getirtilmiştir.

Doğru ve güvenilir bir ölçme sistemi, ölçme organizasyonu ve farklı seviyeleri belirlemek, ülkeler arasındaki farklı uygulamaları ortadan kaldırmak ve aynı fiziksel büyüklüğü aynı birimle veya eşleştirilebilir birimlerle ölçmeyi sağlayacak kararlar almak ve bunları uygulamak uluslar arası yapılaşma ile mümkün olabilmektedir (Şekil 2.1, Şekil 2.2).



Şekil 2.1 Uluslararası metroloji ve kalibrasyon organizasyonu

CGPM

Metre konvansiyonunun en üst karar organıdır. Üye ülkelerin delegelerinden oluşur ve en az altı yılda bir toplanır.

CPM

CGPM deki katılımcı delegeler arasından seçilen 18 kişilik uzmanların oluşturduğu bir organ olup CGPM ‘de alınan genel kararların pratik uygulama kriterlerini tayin ederler. En az iki yılda bir kez toplanırlar.

BIPM

Merkezi Sevre-PARIS’de bulunan Uluslararası Metroloji Enstitüsüdür. Yaklaşık 50 çalışanı olan bu kuruluşun başlangıçtaki esas amacı fiziksel birimlerin realizasyonu için prototip geliştirmek ve üye ülkelere hizmet sunmaktı. Ancak günümüzde bu kuruluş, üye ülkelerin

metroloji enstitülerinde elde edilen fiziksel birimlere ait etalonların döngülü karşılaştırılma (intercomparison) faaliyetlerini organize eden idari bir kuruluş halini almıştır.

Toplam 7 adettir. Metrolojideki bilimsel çalışmaların sektörler bazında desteklenmesi amacıyla CPM tarafından oluşturulmuş ve farklı kunularda çalışan danışma komiteleridir.

NMI

Ulusal Metroloji Enstitüleri: üstünde bulunan topluluklar tarafında oluşturulmuş fiziksel birimleri realize etmek BPM'in kapsamındaki uluslararası karşılaştırmaya (Intercomparision)dahil ederek elde edilen etalonunun (standardın) primer seviye bir standart olmasını sağlar böylece ulusal sevyede izlenebilirli sağlayan kuruluşlar olarak tanımlanır [7].

2.1 Bazı Temel Terim ve Tanımlamalar

Endüstriyel ve bilimsel ölçüm

Metrolojik faaliyetleri önceki bölümde üç başlıkta sınıflandırmıştık. Bunlardan ikisi endüstriyel ve ilmi metrolojidir. Metrolojik aktiviteler birçok endüstriyel işlemin kalitesini belirleyen ölçme ve test işlemlerine sahiptir. Ayrıca bu aktiviteler gün geçtikçe ölçmenin diğer bir önemli konusu olan izlenebilirliği de içerir.

Bilimsel ölçüm BIPM tarafından 9 teknik alana bölünmüştür. Bunlar;

Kütle, elektrik, uzunluk, zaman ve frekans, termometre iyonlaşma ışınımı ve radyoaktivite, fotometri ve radyometre, akustik ve maddenin miktarı.

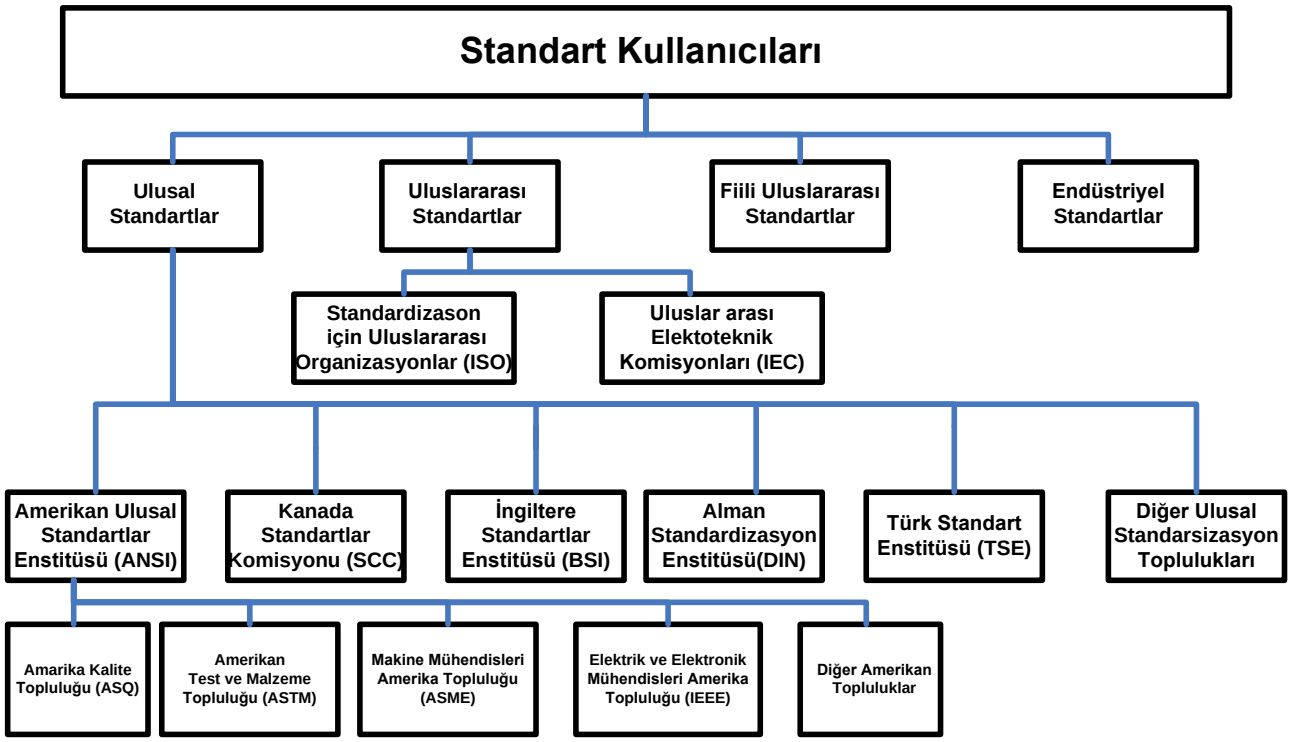
EUROMET ile iki ilave konu daha eklenmiştir:

- Akış
- Bilimler arası metroloji

olarak ilave edilmiştir.

Standardizasyon

Herhangi bir işlemle ilgili bir problem sık sık tekrar ortaya çıkıyorsa, böyle bir durumda problemin bir defa çözülmesi yeterli olacaktır. Böylelikle bir yandan rasyonelleşme sağlanacak, diğer yandan da üretim parçalarının daha iyi değiştirilebilme (vida, ampul, v.s.) imkânı olacaktır. Standartdizasyon belirli bir faaliyetle ilgili olarak ekonomik fayda sağlamak üzere bütün ilgili tarafların yardım ve işbirliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemidir.



Şekil 2.2 Standart kullanıcıları yapısı (DeWayne B. Sharp Measurement Standards)

Uluslararası Standardizasyon Birliği (ISO) tarafından yapılan tariflere göre;

Standardizasyon imalatta, ölçme ve deneyde bir örnekliktir. En ekonomik üretim standartlara uygun üretim, en ekonomik tüketim standartlara uygun tüketimdir. Enformasyon ve üretim

teknolojilerindeki gelişme ile birlikte hızlı bir küreselleşme sürecinin yaşandığı günümüzde standartlar uluslar arası iletişimin ve ticaretin ortak dili olmuştur.

Standardizasyonun faydaları ise;

Üreticiye faydaları;

- Üretimin belirli plan ve programlara göre yapılmasına yardımcı olur.
- Uygun kalite ve seri imalâta imkân sağlar.
- Kayıp ve artıkları asgariye indirir.
- Verimliliği artırır.
- Depolamayı ve taşımayı kolaylaştırır, stokların azalmasını sağlar.
- Maliyeti düşürür.

Ekonomiye faydaları

- Kaliteyi teşvik eder, kalite seviyesi düşük üretimle meydana gelecek emek, zaman ve hammadde israfını ortadan kaldırır.
- Sanayi belirli hedeflere yöneltir. Üretimde kalitenin gelişmesine yardımcı olur.
- Ekonomide arz ve talebin dengelenmesinde yardımcı olur.
- Yanlış anlamaları ve anlaşmazlıkları ortadan kaldırır.
- İhracatta ve ithalatta üstünlük sağlar.
- Yan sanayi dallarının kurulması ve gelişmesine yardımcı olur.
- Rekabeti geliştirir.
- Kötü malı piyasadan siler.

Tüketiciye faydaları

- Can ve mal güvenliğini sağlar.
- Karşılaştırma ve seçim kolaylığı sağlar.
- Fiyat ve kalite yönünden aldanmaları önler.
- Ucuzluğa yol açar.
- Tüketicinin bilinçlenmesinde etkili rol oynar.

Standartların en önemli özelliği, değişen şartlara ve gelişen teknolojiye ayak uydurabilmeyi sağlamaktır.

Ayrıca standardizasyon vasıtasıyla hesap ve muhakeme hataları ortadan kalkacağından (köprü, buhar kazanları hesapları v.b.), standardizasyonun güvencenin artırılmasında büyük ölçüde payı vardır.

Uluslararası standartların her şeyden önce amacı, teknik problemleri dünyanın mümkün olduğunca fazla sahasında tümüyle aynı şekilde anlaşılır hale getirmektir. Böylece farklı ülkeler arasında ticaret, dokümantasyon materyalinin veya ticari malzemelerin her ülkeye göre uyarlanma mecrubiyeti olmaksızın yürütülmesine olanak tanınacaktır [7,8,9].

Ölçüm standartları

Ölçüm standardı veya etalonu referans malzemesi ölçüm sistemi olarak çeşitlenen bir büyüklüğün birimini veya o büyüklüğün bir veya daha çok bilinen değerini tanımlayarak, üreterek kıyaslama yoluyla bunları diğer ölçü aletlerine aktarmayı amaçlamış ölçüt/ölçek, ölçü aleti veya ölçme sistemi.

Örneğin; Bir metre vakum ortamında ışığın 1/299 792 458 saniyede aldığı yolu ifade eder. Burada metre bizim için bir ölçüm standardıdır. Ayrıca başka ölçüm standartlarına çevirmek de mümkün. Örneğin bir metre;

- Kesin olarak 1/0.9144 yarda (yaklaşık 1,0936 yarda)
- Kesin olarak 1/0.3048 foot (yaklaşık 3,2808 ayak)
- Kesin olarak 10000/254 inç (yaklaşık 100000 inç)

Şeklinde ifade edilebilir.

Kolektif standart

Birlikte kullanıldıklarında bir standart vazifesi gören bir dizi benzer ölçek veya ölçü aleti.

Grup standart/standartlar serisi

Tek başlarına veya uygun kombinasyonlarda, bir büyüklüğün belli bir aralıkta bir dizi değerini üreten, özel değerlerde seçilmiş bir dizi standart.

Örnek: ağırlık seti, ardışık yoğunluk aralıklarını kapsayan bir hidrometre seti

Primer standart

Belirli bir alanda en yüksek metrolojik niteliklere sahip standart.

Not: Primer standart kavramı temel birimler için olduğu kadar türetilmiş birimler için de geçerlidir.

Sekonder standart

Değeri bir primer standartla kıyaslanarak saptanan standart

Uluslararası standart

İlgili nicelikte, diğer tüm standartların değerlerini saptamakta, uluslararası baz olarak kullanılacak, uluslararası anlaşmayla tanınan bir standart.

Ulusal standart

Bir ülkede, ilgili büyüklüğün tüm standartlarının değerlerini saptamakta baz olacak, ulusal resmi bir kararla tanınan standart.

Not: Ulusal standart genellikle bir ülkedeki primer standarttır.

Referans standart

Belirli bir mahalde yapılan ölçümlerin kendisinden türetildiği, oradaki en yüksek metrolojik niteliklere sahip standart.

Çalışma standardı

Çoğunlukla bir referans veya aktarım standardı ile kalibre edilmiş olan, ölçekleri veya ölçü aletlerini rutin olarak kalibre etmekte kullanılan standart.

Transfer (aktarım) standardı

Standartları, ölçekleri veya ölçü aletlerini karşılaştırmakta aracı olarak kullanılan standart.

Not: Karşılaştırma gereci tam olarak gerçek bir standart değilse, transfer cihazı terimi kullanılabilir.
(Örneğin uzunluk standartlarını birbirleriyle karşılaştırmak için kullanılan ayarlanabilir ölçü aletleri.)

Seyyar/ gezici standart
Farklı mahaller arasında nakliyesi amaçlanmış, kimi kez özel konstrüksiyona sahip olan standart.

Örnek: Portatif, pille çalışan sezyum atomik frekans standardı

Referans malzeme

Bir veya daha fazla özelliği, bir gerecin kalibrasyonunda, bir ölçme yönteminin tetkikinde veya bir malzemeye değerler verilmesinde kullanılmasına yetecek kadar iyi oluşturulmuş olan malzeme veya madde.

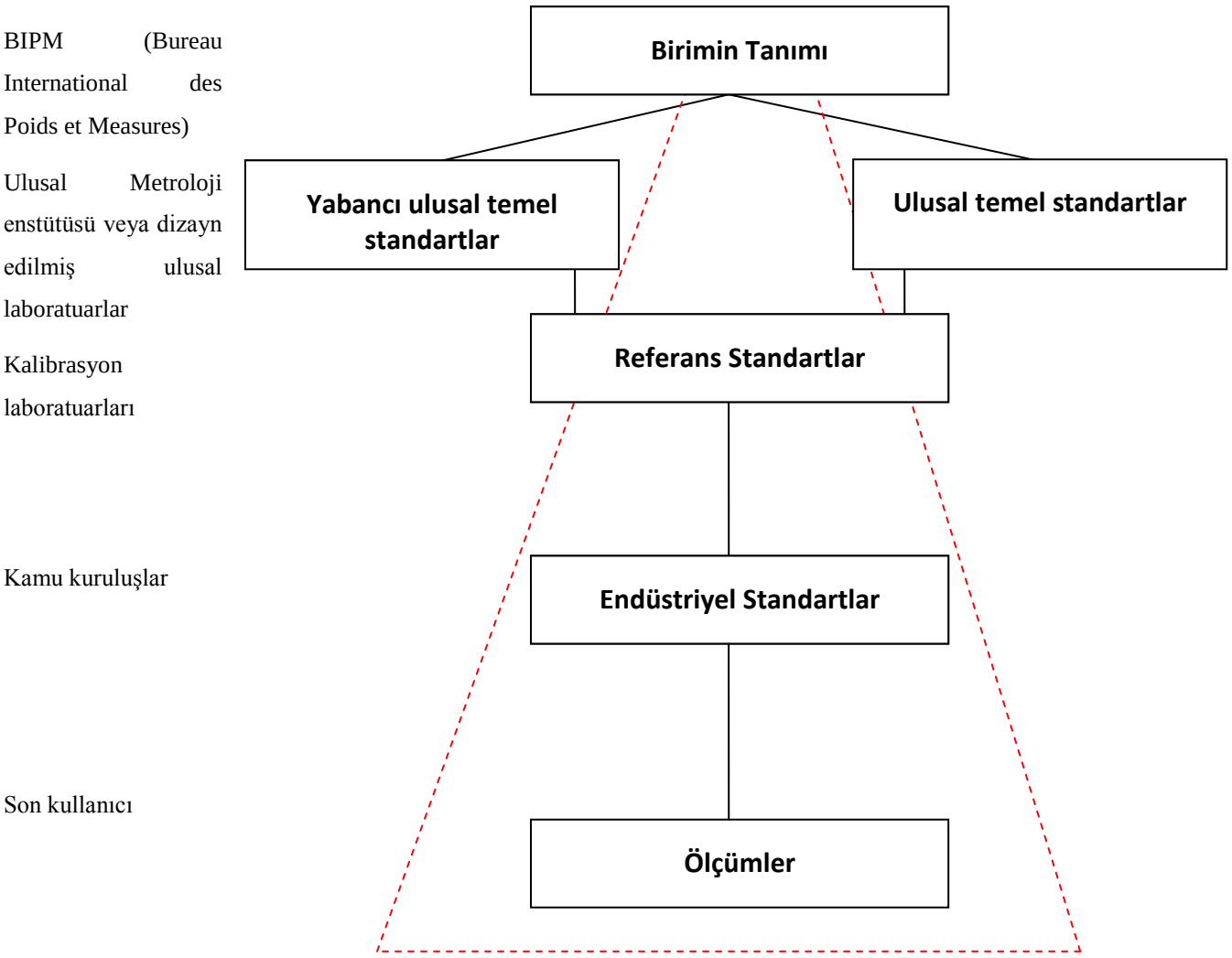
Sertifikalı referans malzeme

Sertifikalı referans malzeme (CRM, certified reference material) bir veya birden çok teknik özelliğini izlenebilirliğini sağlayan prosedür tarafından sertifikalandırılmış malzeme anlamına gelmektedir. Sertifikalandırılmış her bir değer standartlarda belirtilen belirsizlik oranını içermektedir.

İzlenebilirlik

İzlenebilirlik, bir ölçme sonucunun, makayeseli ölçümlerin kesintisiz bir zinciri ile uygun-genellikle uluslararası veya ulusal etalonlara (normallere) kadar bir referans oluşturması kavramıdır [28].

Aşağıdaki şemada izlenebilirlik şemasını görebilirsiniz. İzlenebilirlik yapılan ölçüm sonuçlarının kabul edilen standartlarla ilişkilendirilmesini sağlar Bu sayede yaptığınız ölçümün doğruluğunu, referans değerleri içerisinde olup olmadığını değerlendirmiş olursunuz.



Şekil 2.3 İzlenebilirlik çemberi

(İzlenebilirlik çemberinde aşağıya doğru inildik belirsizlik oranı artar.)

BÖLÜM 3

KALIBRASYON

Kalibrasyon işlemi kararlı ve ölçülmüş çevre şartları altında doğruluğu bilinen bir referansla, doğruluğu bilinmeyen bir ölçme sisteminin mukayese edilip raporlanma işlemidir. Belirlenmiş koşullar altında, ölçme sisteminin veya ölçme cihazının gösterdiği değerler veya ölçme gereci ile gösterilen değerlerle ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen prosedür olarak ifade edilir.

Ölçme işlemi sonucuna göre doğru bir karar verebilmemiz için referans sonuçlara ihtiyacımız vardır. Gerçeği gösteren bilgi için de doğru ölçüm gereklidir. Her ölçme sonrası sonuçları değerlendirme işlemine gerek duyarız. Bu değerlendirmelerin doğru olabilmesi için kaliteli metroloji hizmetleri gereklidir. Hangi parametreleri hangi doğrulukta ölçmemiz gereklidir. Ölçme işlemini ne derece doğru yapıyorsak o kadar doğru değerlendiririz. Ölçme işlemini yaklaşık olarak değil, toleranslarıyla birlikte tam olarak belirlenmemiz gerekmektedir.

Bu durum hem maliyet açısından hem de güvenlik açısından oldukça önemlidir. Ölçme kapasitesinin, toleransın ve diğer ölçüm karakteristiklerinin bilinmesi ve ölçüm hatalarının belirlenmesi lazımdır. Kullanımda standardın uygulanmasında ölçme çok önemlidir. Değişik yerlerinde yapılan ölçme sonuçlarının aynı olması için kullanılan ölçü aletlerinin doğru olması gerekir. Bu da ancak kalibrasyon işlemiyle mümkün olabilir.

Kalibrasyon işlemi bir bilimsel çalışma olup, Bilimsel bir çalışmadan beklenen tüm gereklilikler karşılanmalıdır. Yani çalışmalar kontrollü bir ortamda, özenli ve yazılı çalışma alışkanlığına konusunda eğitimli kişilerce yapılmalı. Çalışmanın yapıldığı ortam özellikleri, kullanılan ekipman, uygulanan yöntem, ölçüm belirsizliği ve sonuçlar kalibrasyon raporunda

belirtilmelidir. Bu bilimsel çalışma sayesinde hatalar minimuma inecek ve oluşması muhtemel hatalar önceden tahmin edilip elimine edile bilinecektir.

Şimdiye kadar yapılmış çalışmalara göre, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin maliyeti her zaman ölçme ve kalibrasyon maliyetlerinden daha yüksek olduğundan kalibrasyonu yapılmış bir ölçme cihazı ile yapılan ölçümlerin sonuçları her zaman gerçek değere yakın bir değer vereceğinden, yapılan ölçümler daha güvenli olacaktır. Bu da o proses veya ölçüm noktasında oluşabilecek hata oranını minimuma indireceğinden, üretim maliyetini büyük oranda düşürecektir.

Ölçüm işlemlerinde doğruluk beklentisi arttıkça, kullanılan ölçü aletinin metrolojik özelliklerine ait beklentiler ve dolayısıyla ölçü aleti maliyetleri de artar. Örneğin ± 1 mm hatalı ölçümün tolere edilebildiği bir uzunluk ölçümünde cetvel kullanmak yeterli iken, ± 0,01 mm hatanın ancak tolere edilebildiği bir ölçümde en azından bir mikrometreye ihtiyaç duyulur. Söz konusu ölçümler üretim kalitesini (veya ürün fiyatını) doğrudan etkileyen bir noktada yapılıyorsa, cetvelin de, mikrometrenin de ne kadar doğru ölçüm yaptığının kanıtlanabilmesi çoğunlukla zorunlu hale gelir. Öyleyse ölçü aletlerinin hangi hata payı ile ölçebildiklerini gösteren, imalatçısının belli bir model için ortak olarak belirttiği teknik özelliklerden başka, her bir cihaz için o cihaza özgü güvenilir bir belgeye ihtiyaç vardır. Bu belge de genellikle kalibrasyon sertifikası veya protokolü şeklinde adlandırılır [17].

3.1 Standartlarla Koordinat Eksenli Ölçme Cihazının Kalibrasyonu

3.1.1 ISO 10360

Koordinat ölçme makinesi (KÖM) kalibrasyonu için hazırlanmış olunan bu standart içeriğinde, Geometrik Mamul Özellikleri (GMÖ) standardı [27] olarak değerlendirilmelidir. Bu standart, büyüklük, uzaklık, yarıçap, açı, biçim, yönelim, yerleşim, işletim ve verilere ilişkin standartlar serisinin tümünü ilgilendirmektedir. Ayrıca bu standart sadece Kartezyen, temaslı prob sistemine sahip koordinat ölçme makinelerini kapsamaktadır.

Bu standarttaki deneylerin amacı geometrik ölçümler için gösterge hatalarını ve sondalama hatalarını belirlemektir. Büyüklük ölçmesi için bunlardan önemli olanı, gösterge hataları için olanıdır. Faydası ise ölçülen uzunluğun metre cinsinden doğrudan izlenebilir olması ve

buradan, birim uzunluğa göre benzer ölçme işlemi yapıldığında, koordinat ölçme makinesinin (KÖM) , performansının nasıl olacağına ilişkin veri elde edilmesidir.

İki boyutta sondalama sistemini içeren büyüklük ölçmesi için gösterge hatasına ilişkin deneye ilave olarak diğer deneyle, 3D- sondalama hatasının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ancak sondalama hatalarını makine ve çevre hatalarında ayırt edilemez. Diğer hatalar da deney sonuçlarını oldukça etkilemektedir.

Bu standardın amacı büyüklük ölçülmesi için kullanılan KÖM' inin performansının imalatçısının beyan ettiği gibi olduğunu doğrulamak ve ölçme büyüklüğü için kullanılan KÖM' inin performansının periyodik olarak tekrar doğrulamaktır.

3.2 prEN ISO 10360-2

preEn ISO 10360-2, 2008 yılı Eylül ayında yayınlanmış olup, hazırlanmış olan bu doküman bir ön çalışmadır , EN ISO 10360-2: 2001 çalışmasının bir sonraki adımıdır.

bir ön çalışmadır. Avrupa Standartı olarak referans alınmamalıdır.

Bu doküman üç teknik hedefi içermektedir;

- Ram ekseni prob ucu mesafesi olmayan prob sistemi kullanarak kalibre edilmiş bir test mesafesi gösteriminin hatasını test etmek
- Ram ekseni prob ucu mesafesi bulunan prob sistemi kullanılarak kalibre edilmiş bir test mesafesi gösteriminin hatasını test etmek
- Kalibre edilmiş test uzunluğunun tekrarlanabilirliğinin test edilmesi.

Bu testlerin faydası birim uzunluk sonuçlarının direk olarak metre biriminden takip edilebilirliğinin olmasıdır. Ayrıca KÖM' inin benzer ölçme uzaklıklarında nasıl sonuçlar verdiği bilgisini alabiliyoruz.

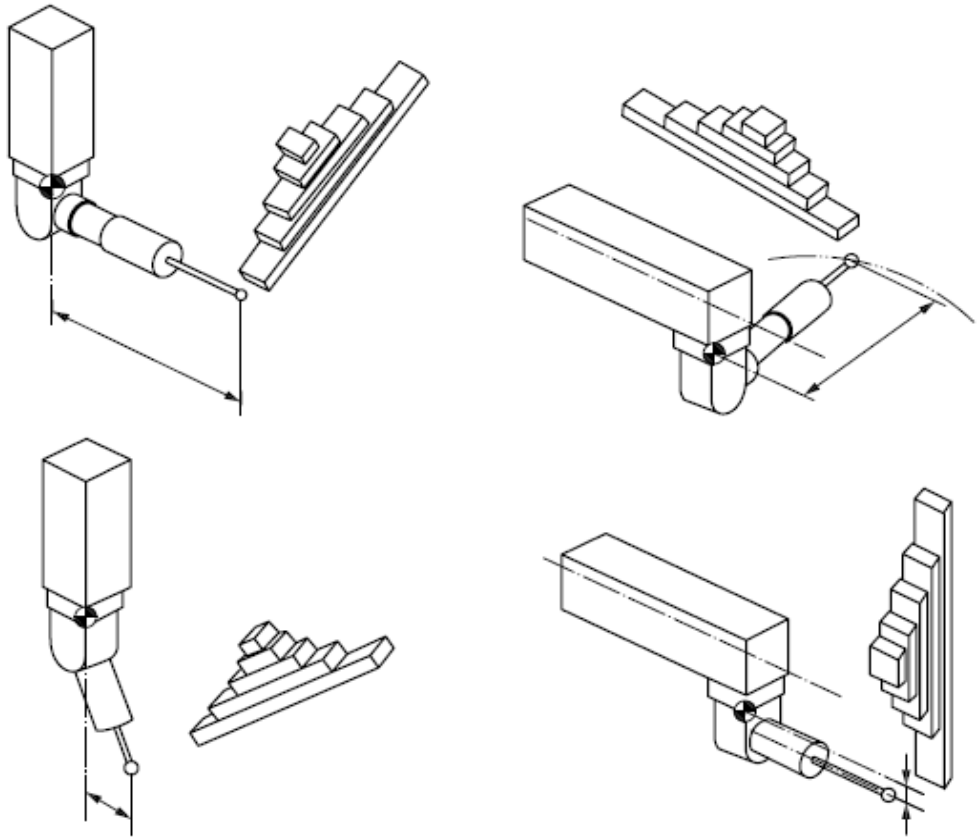
Değerlendirme metodunun prensibi ise kalibre edilmiş, metre ile takip edilebilir, test uzunluğu kullanarak KÖM' inin izin verilen maksimum ve minimum mesafe hataları arasında olup olmadığını değerlendirmektir.

Değerlendirme önceden belirlenmiş olan beş farklı kalibre edilmiş test mesafesi ile karşılaştırılması işlemiyle gerçekleştirilir. Ölçme ,kalibre değerlerine bağlı olarak, üçer defa tekrarlanır.

Kalibre edilmiş test mesafesi ve KÖM' inin arasındaki düzeltilmemiş termal genleşme katsayısı önemli sayılabilecek hatalara sebeb olabilir. Bu sebeple bu bölümde test mesafesini Termal Genleşme Düzeltmesi (TGD) konusu üzerinde durulmuştur.

3.2.1 Ram eksenli prob ucu mesafesi sıfır olan problar ile uzunluk ölçümünde oluşan hata, E_0

E_0 testleri ram eksenli prob ucu mesafesi sıfır olan yada sıfıra yakın olan prob ucları ile gerçekleştirilmelidir. Şekil 3.4' de bu mesafeler gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Ölçme kollu problama sistemi kullanıldığı zamanki ram ekseni prob ucu mesafesi örnekleri

3.2.1.1 Ölçüm Ekipmanı

Bu teslerde her pozisyon için en uzun kalibre edilmiş aralık KÖM' inin hareket edebileceği maksimum uzunluğun minimum %66'sı kadar olmalıdır. Bu yüzden cisim köşegeninde pozisyonlandırılmış minimum izin verilen en uzun kalibre edilmiş test mesafesi eksen doğrultusunda minimum izin verilenen kalibre edilmiş en uzun test mesafesinden uzun olmalıdır. Kalibre edilmiş her bir test mesafesi birbiri arasında mesafe açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Uzunluk mesafeleri ölçüm hattı üzerinde düzgün dağıtılmalıdır.

Genel olarak bir pozisyon için beş farklı test mesafesi kullanılır.

Test mesafesini termal genleşme düzeltmesi (TGD) kullanıcı tarafından yüksek veya düşük olarak belirlenebilir. Kullanıcı kalibre edilmiş test mesafesinin termal genleşme düzeltmesini izin verilen maksimum belirsizliğini belirlemelidir.

Eğer kalibre edilmiş test mesafesi normal termal genleşme katsayısına sahip bir malzemeden değilse, bu değere karşılık gelen $E_{0\ ,MPE}$ değerleri yıldız imi ve açıklama notu ile ayrıca belitilmelidir.

3.2.1.2 Prosedür

Ölçme Pozisyonları

KÖM ölçme hacmi içerisine yedi farklı ölçme pozisyonu için beş farklı kalibre edilmiş mesafe yerleştirilmelidir. Ve her bir mesafe üçer defa ölçülmelidir. Toplamda yüz beş ölçüm gerçekleştirilir. Yedi pozisyondan dört tanesi, tabloda gösterildiği gibi, uzay köşegenlerine yerleştirilmelidir.(Tablo 3.1) Diğer pozisyonlar ise üretici tarafından KEÖC eksenine paralel olarak tabloda gösterildiği gibi belirlenmelidir.

Eksen mesafeleri arasında en büyük açı oranına sahip KEÖC 'ları için iki ölçme pozisyonunun eklenmesi kullanıcı ve üreticiye karşılıklı anlaşma çerçevesinde tavsiye edilir. En büyük açı oranı en uzun eksen mesafesinin ortalama eksenin en az üç katı olması durumunda ortaya çıkar. Böyle bir durumda örneğin en uzun eksen X ise diğer iki köşegen Y-Z düzlemleri X ekseninin yaklaşık olarak orta noktasına yerleştirilmelidir.

Çizelge 3.1.Hacim İçinde Prob Yönelimleri

Pozisyon Numarası	Hacim içerisindeki yönelimi	İstenilen veya olağan
1	Uzay formunda (1,0,0)'dan (0,1,1) köşegen doğrultusunda	İstenilen
2	Uzay formunda (1,1,0)'dan (0,0,1) köşegen doğrultusunda	İstenilen
3	Uzay formunda (0,1,0)'dan (1,0,1) köşegen doğrultusunda	İstenilen
4	Uzay formunda (0,0,0)'dan (1,1,1) köşegen doğrultusunda	İstenilen
5	Makine ölçütlerine paralel olarak (0, ½, ½)'den (1, ½, ½)	Olağan
6	Makine ölçütlerine paralel olarak (½, 0, ½)'den (½, 1, ½)	Olağan
7	Makine ölçütlerine paralel olarak (½, ½, 0)'den (½, ½, 1)	Olağan
Not: Bu tablodaki özellikler için, ölçüm hacminin karşılıklı köşelerinin (X, Y, Z) koordinatlarında (0 ,0, 0) ve (1, 1, 1) olduğu kabul edilmiştir.		

Ölçme prosedürü

Prob sistemi üreticinin prosedüründe belirtildiği gibi kurulmalı ve ayarlanır. Bütün prob sistemi özellikleri üretici tarafından sağlanan referans küresine veya belirtilen diğer KEÖC artefaktlarına göre ayarlanmalıdır.

Kalibre edilmiş test mesafesi ram ekseni ile prob ucu arasındaki eksen farkı mesafesi sıfır yada sıfıra en yakın değer ile belirlenmelidir. Kalibre edilmiş her beş mesafden üçer ölçüm sonucu belirlenir Yedi ölçüm noktası için kalibre edilmiş mesafelerden toplamda yüz beş farklı ölçüm işlemi tekrar edilir.

Kullanılan artefakta göre ilave ölçümler gerekebilir.

Düşük termal genleşme düzeltmesi (TGD)

Üreticinin teknik özellikleri için belirtilen $E_{0,MPE}$ değerinin $\alpha < 2\times10^{-6}\,^{\circ}C$ (bu normal TGD değeri değildir) olması durumunda normal TGD malzemeli mesafe üzerinde ilave kalibrasyon ölçümleri yapılmalıdır. Normal TGD malzemeli test mesafesi en uzun KEÖC eksen hareket mesafesinin %50' si kadar veya 0.5 m azından daha büyük olmalıdır. Bu ölçüm KEÖC ölçüm hacminin merkezinde veya KEÖC ekseninin paralelinde gerçekleştirilmelidir. Ölçüm üç defa tekrar edilmelidir. Prosedür için Lazer İnterferometrenin kullanıldığı ölçümlerde Lazer İnterferometre düşük TGD'li malzeme olarak kabul edilir ve bu yüzden normal TGD'li kalibre edilmiş test mesafelerine ihtiyaç duyulur. Ölçme işleminde Lazer İnterferometre kullanarak ölçülmüş bir ölçüm hattını normal TGD artefakt ile tekrar ölçmek tavsiye edilen bir uygulamadır. Böylece ışığın kırılımının doğru bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini iki farklı ölçüm sonucu sayesinde pratik olarak anlayabiliriz.

Test sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan yüz beş ölçümün ve önceki bölümde bahsedilen ilave üç ölçüm için de mesafe ölçüm hata, $E_{0,}$ ölçüm sonucu bulunan değerin kalibre edilmiş test mesafesi değeri ile kıyaslanmasıyla hesaplanır.

Eğer KEÖC'nin ilave aksesuarları var ise sistematik hataların ve termal hataların ölçümü de gerçekleştirilebilinir.

3.2.2 Ram eksenli prob ucu mesafesi 150 mm olan problar ile uzunluk ölçümünde oluşan hata, E_{150}

3.2.2.1 Ölçüm ekipmanı

Bu testlerde her pozisyon için en uzun kalibre edilmiş aralık KÖM' inin hareket edebileceği maksimum uzunluğun minimum %66'sı kadar olmalıdır.

Kalibre edilmiş her bir test mesafesi birbiri arasında mesafe açısından önemli ölçüde farklılık gösterir. Uzunluk mesafeleri ölçüm hattı üzerinde düzgün dağıtılmalıdır. Genel olarak bir pozisyon için beş farklı test mesafesi kullanılır.

Test mesafesini termal genleşme düzeltmesi (TGD) kullanıcı tarafından yüksek veya düşük olarak belirlenebilir. Kullanıcı kalibre edilmiş test mesafesinin termal genleşme düzeltmesini izin verilen maksimum belirsizliğini belirlemelidir.

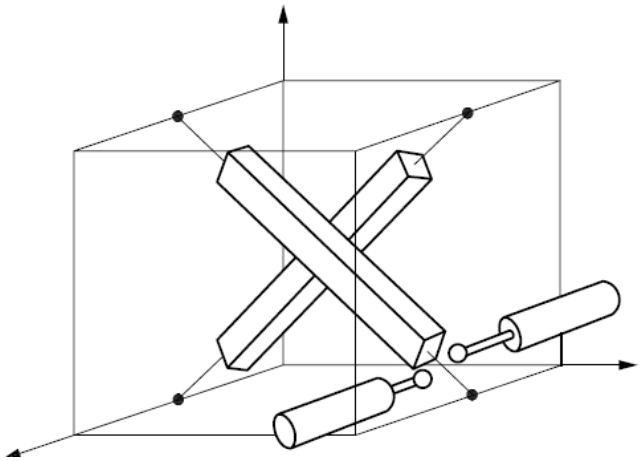
3.2.2.2 Prosedür

Prob Yönelimleri

Prob sistemi üreticinin prosedüründe belirtildiği gibi kurulmalı ve ayarlanmalıdır. Bütün prob sistemi özellikleri üretici tarafından sağlanan referans küresine veya belirtilen diğer KÖM artefaktlarına göre ayarlanmalıdır.

Kalibre edilmiş test mesafesi ram ekseni ile prob ucu arasındaki eksen farkı mesafesi 150 mm (+/- 15 mm) olarak belirlenmelidir (Örneğin; E_{150}).

Her bir ölçüm için kullanıcı ram ekseni prob ucu aralığının eksen yönünün pozitif veya negatif olduğunu belirtmesi gerekmektedir.-X veya X yönü 1A, 1B olarak ifade edilirken –Y veya +Y 2A, 2B olarak ifade edilir. (Şekil 3.2.2.2.1-3).



Şekil 3.5 E_{150} test prosedürü için dört muhtemel prob yöneliminin ikisi ve dört muhtemel test mesafesi pozisyonunun ikisi

Muhtemel ölçüm pozisyonları ve prob yönelimleri

Tersi belirtilmedikçe muhtemel sekiz kalibre edilmiş test mesafesinin ve prob yöneliminin ancak iki tanesi test edilecektir. Kullanıcı Tablo 3.2.2.2.1-4'da gösterilen dört pozisyondan ikisini seçerek işlemini gerçekleştirir.

Çizelge 3.2. Ölçme Noktaları ve Prob Yönelimleri

Pozisyon Numarası	Hacim içerisindeki yönelimi
1A	YZ düzlemi köşegeni boyunca (½, 0, 0) noktasından (½, 1, 1)'a
1B	YZ düzlemi köşegeni boyunca (½, 0, 1) noktasından (½, 1, 0)'a
2A	XZ düzlemi köşegeni boyunca (0, ½, 0) noktasından (1, ½, 1)'a
2B	XZ düzlemi köşegeni boyunca (0, ½, 1) noktasından (1, ½, 1)'a
Not: Bu tablodaki özellikler için, ölçüm hacminin karşılıklı köşelerinin (X, Y, Z) koordinatlarında (0 ,0, 0) ve (1, 1, 1) olduğu kabul edilmiştir.	

Kullanıcı bir veya iki prob yönelimi belirlemelidir.KÖM'ün Ram ekseni Z ekseninde farklı olarak belirlenmiş ise buna karşılık gelen prob pozisyonları ve prob yönelimleri

değişimleri Çizelge3.2 da belirtilmelidir.

Ölçme Prosedürü

Her bir mesafe pozisyonu ve prob yönelimi için beş farklı kalibre edilmiş test mesafesi üçer defa ölçülmelidir. Bu sebeple seçilmiş ikili kombinasyon için toplamda otuz ölçme işlemi gerçekleştirilir. Artefaktların hizalanması için ilave ölçümler gerekebilir.

Test sonuçlarının değerlendirilmesi

Otuz ölçüm için de kalibre edilmiş değer ile test sonucu arasındaki farktan yararlanarak hata oranı bulunur. Eğer KÖM'nin ilave aksesuarları var ise sistematik hataların ve termal hataların ölçümü de gerçekleştirilebilinir.

3.2.2.3 İki Ramli Koordinat ölçme makineleri

Basit Çalışma modu

Her bir ram makinalarının çalışma modları basit çalışma modunda belirlenmelidir. Basit modundaki her bir Ramin ölçme hacmine bağlı olan en küçük probun maksimum erişme hacmine göre belirlenir.

İkili Çalışma Modu

Bu çalışma modunda önceki yöntemlerde belirtilen modifikasyonlar takip edilir. Test işlemine başlamadan önce ölçme hacminin merkezine bir test küresi yerleştirerek her iki ram

aracılığıyla ölçüm almak tavsiye edilir. Ölçüm sonuçlarının $E_{0,MPE}$ den küçük olması istenir. Böylece kolaylıkla iki Ram'in uygun bir şekilde yerleştirildiği anlaşılır.

Her iki Ram'im de hacim merkezine göre simetrik olmasından dolayı Ram'lerden kaynaklanan hatalarda birbirine eşit olur. Bu durum sayesinde kalibre edilmiş uzaklıklar da her iki uzaklık için eşit ise bu hataları düzeltmek söz konusu olabilir. Kalibre edilmiş test uzunluklarının orta noktasının merkez düzlemden kaydırılması simetrik olarak oluşan hatalar sayesinde düzeltme yapma ihtimali olmaz, orta noktanın kaydırılmasıyla simetrik hata oluşumu gerçekleşmez. Bunu Lazer İnterferometre ile gerçekleştirdiğimizde her iki ram'inde ölçme hacmine göre merkeze getirmek için genişletilmesi ve sonrasında kolların geri yansıtıcılarının hareketini gerekli beş ölçümün maksimum ölçüm uzaklığının %66'sını kapsayacak şekilde ayarlanmasıyla işlem kolayca gerçekleştirir.

Ölçme hattını belirlemek için kontakt probunun kullanılmadığı kalibre ölçüm mesafeleri Lazer İnterferometre ile kalibrasyon işlemlerinde geri yansıtıcılardan birisi ram'e lazer ışını ise diğer Ram üzerine tutturulur. Her bir ram ihtiyaç duyulan beş kalibreli uzaklığın bitiş noktalarına kadar hareket ettirilmelidir. İstenilen şartları ve iki ram arasındaki metrolojik bağlantıyı sağlamak için her iki kol da kısa etolonların sonunda her bir ölçüm hattı için birer noktada üçer defa ölçüm almalıdır.

3.2.2.4 Özelliklere Uygunluk

3.2.2.4.1 Kabul Kriterleri

Lineer boyutları ölçüm için kullanılan KÖM'ların doğruluğu şu şartlar altında kabul edilir;

- Ölçme belirsizliği ISO 14253-1'de belirtilen prosedüre göre KÖM'nın büyüklük ölçmeleri için hesaplanmış olan gösterge hatası E, Ram ekseni ve prob ucu mesafesinin sıfır olan KÖM'lerle ölçme işlemi gerçekleştirirken, imâlatçının beyan ettiği KÖM'nın izin verilebilir en büyük gösterge hatası $E_{0,MPE}$ 'den büyük değilse

ve

- Ölçme belirsizliği ISO 14253-1'e göre hesaplanarak katılarak KÖM' nin uzaklık ölçüm hatasının tekrar edilebilirlik aralığı izin verilen maksimum tekrar edilebilirlik aralığında

olması ve KÖM'lerle ölçme işlemi gerçekleştirirken ISO 10360-1:2000'de belirtilen ilgili diyagramlardan uygun olan birine imalatçı tarafından ifade edilen değerler içerisinde olması

ve

-Ölçme belirsizliği ISO 14253-1'e göre hesaplanarak KÖM'nın büyüklük ölçmeleri için gösterge hatası E, Ram ekseni prob ucu mesafesinin 150 mm ($E_{150,MPE}$)olduğu KÖM'lerle ölçme işlemi gerçekleştirirken, imâlatçının beyan ettiği KÖM'nın izin verilebilir en büyük gösterge hatası $E_{0,MPE}$ 'den büyük değilse

prosedür kabul edilir.

3.2.2.4.2 Data alımı ve ölçümlerin tekrar edilmesi

Ram ekseni ve prob ucu mesafesi sıfır olan (E_0)

Ram ekseni ve prob ucu mesafesi sıfır olan kollarda (E_0) ölçüm mesafesi hatası tekrar edilen üçer ölçümlü otuz beş setten beş tanesi ancak uygun alanın dışındadır. ISO 14253-1'de belirtildiği gibi uygun alanın dışında olan ölçümler o konumda üçer defa tekrar edilmelidir.

Mesafe ölçüm hatasının tekrar edilebilirlik aralığı(R_O)

Ram ekseni ve prob ucu mesafesi sıfır olan (E_0) bölümünde ifade edilen kalibre edilmiş bir test mesafesi söz konusu ise R_0'ı belirlemek için o pozisyonda ölçme işleminin üçer defa gerçekleştirilmesi vede orijinal üç ölçme işleminin göz ardı edilmesi gerekmektedir. Ram ekseni ve prob ucu mesafesi sıfır olan (E_0) bölümünde ifade edilenlerin dışında ek bir ölçme işlemi yapılmamalıdır.

Ram ekseni ve prob ucu mesafesi 150 mm olan (E_{150})

Ram ekseni ve prob ucu mesafesi 150 mm olan kollarda (E_{150}) ölçüm mesafesi hatası tekrar edilen üçer ölçümlü 10 setten iki tanesi ancak uygun alanın dışındadır. ISO 14253-1'de belirtildiği gibi uygun alanın dışında olan ölçümler o konumda üçer defa tekrar edilmelidir.

3.2.2.5 Kalibre Edilmiş Bir Test Uzaklığını İfade Eden Artefaktlar

Ekonomiklik ve pratiklik için KMÖ'lerin test işleminde kullanılmak üzere bir takım yardımcı önceden kalibre edilmiş uzaklıkları ifade eden artefaktlar kullanılmaktadır. Bu test uzaklıkları üç tip hatayı belirlemek için kullanılmaktadır. Bu hatalar;

1) test mesafesinin uç noktaları arasında meydana gelen geometrik ve termal hatalar
2) prob ucu boyut hataları
3) kalibre edilmiş test mesafesinin her iki ucunda da tekli problama noktasının tekrar edilebilirlik problemi

Büyük hacimli KÖM'lerin kalibrasyon işlemi srasında yukarıda bahsettiğimiz artefaktlar yeterli olmayabilir. Bu gibi durumda birden fazla artefaktın çakıştırılmasıyla işlem gerçekleştirilebilinir. Bu artefaktların yerine lazer bazlı sistemler aracılığıyla da işlem gerçekleştirilebilinir. Bu gibi durumlarda belirsizlikler ve işlem hataları üzerine daha fazla önem gösterilmesi gerekmektedir.

Lazer interferometre kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerde havanın kırılma indeksi TGD (termal genleşme düzeltmesi, $\alpha = 0$) olarak alınır. Lazer sıcaklık sensörüne sahip ise lazer yazılımında bulunan TGD değeri 0 olarak girilmelidir. Kullanılan KÖM sıcaklık dengeli ise KÖM yazılımında TGD 0 olarak girilmelidir.

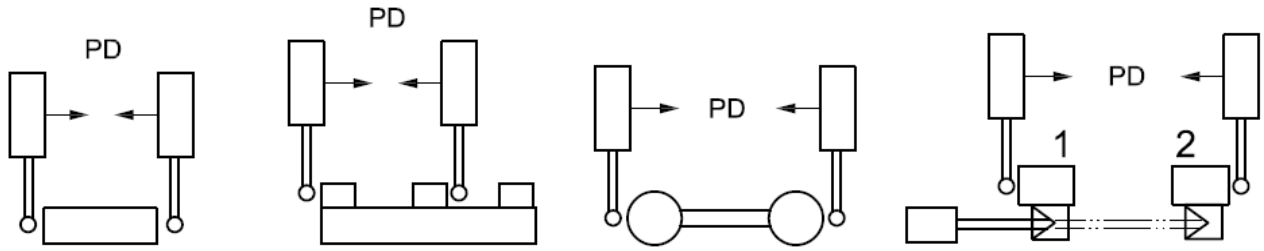
Lazer interferometre ile kalibrasyon işlemi sırasında KÖM'nın prob yüzeyi olmadan nominal koordinatlarla ifade edilen bir noktada konumlandırılmış olmasına dikkat edilmelidir. Bu durumda KÖM nominal pozisyona net olarak ulaşamayabilir. KÖM gerçek pozisyonu bildirdiği sürece bu durumu bir gösterge hatası olarak ifade etmeye gerek yoktur. Sonuç olarak her bir test mesafesi için KÖM aracılığı ile belirlenen A ve B noktalarının uzaysal mesafeleri Lazer İnterferometre ile de karşılaştırılmalıdır. Hesaplama işlemi için kullanılam KÖM koordinatlarının da problama işlemi sırasında hata düzeltme işlemlerini içerdiğinden emin olmak gerekmektedir.

Adım, set etalon, çoklu küre etalon, küre düzlemler ve Lazer İnterferometre gibi geometrik verilerini referans alabileceğimiz gereçler birden fazla uzaklıklar oluşturabilir. Örneğin; bir adım etalon A'dan B'ye, A'dan C'ye v.b. uzaklıkları ölçebilir. Bir Lazer İnterferometre ile ilk pozisyondan sonra birçok pozisyon için ölçüm alınabilinir. Adım etaslonlarla eşdeğerlilik

sağlamak için referans pozisyon her kalibre edilen uzaklık için tekrar ölçülmelidir. Örneğin; A'dan B'ye ölçümde ve A'dan C'ye ölçümde A noktası tekrar ölçülmelidir. Lazer İnterferometrede de işlem aynı şekilde gerçekleştirilir. İlk pozisyon her bir kalibre edilmesi gereken uzaklık için tekrar ölçülmelidir.

3.2.2.5.1 İki Yönlü Ölçümler

İki yönlü kalibre edilmiş bir etalon bir test uzaklığını ifade eder. İki yönlü ölçüm etalonun her iki uç noktasından, karşılıklı çapraz noktalardan birer noktadan ölçüm almayı ifade eder. İç ve dış iki yönlü ölçümler birbirine karıştırılmamalıdır. Ölçme işleminde gerçekleştirilecek muhtemel metotlar aşağıda belirtilmiştir.



a) Etalon Blok b) Step Etalon c) Küre Etalon d) Lazer

(Sondan sona ölçüm)

Açıklama;

PD: Prob Yönü

1 Posizyon 1

2 Posizyon 2

Şekil 3.6 İki Yönlü Ölçüm Örnekleri

(Her bir ölçümde sadece bir nokta problandı)

Etalon Bloklar

Tek noktadan- tek noktaya ölçüm metoduyla kalibre edilmiş etalon bloklar aracılığıyla kalibre edilmiş uzaklıklar oluşturulabilinir. Her bir problama noktasının kalibre edilmiş etaslon üzerine yerleştirilmesi tavsiye edilir.

İki Yönlü Ölçümde Adım Etalonları

Bir noktadan bir noktaya ölçüm metoduyla kalibre edilmiş etalon bloklar aracılığıyla kalibre edilmiş uzaklıklar oluşturulabilinir.

İki Yönlü Ölçümde Küre Etalon/ Küre Etalonlu Düzlemler

Merkezden merkeze ölçüm artı kalibre edilmiş kürelerin her birinin çap yarısının eklenmesi metoduyla kalibre edilmiş Etalon/ Küre Etalonlu Düzlemler aracılığıyla kalibre edilmiş uzaklıklar oluşturulabilinir.

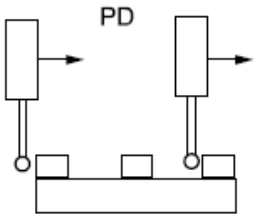
İki Yönlü Ölçümde Kontak Problamalı Lazer İnterferometre

Kalibre edilmiş test mesafesi lazer interferometre veya etalon bloğu aracılığıyla elde edilebilinir. Kalibre edilmiş test mesafesi kalibre edilmiş etalon bloğu ve kalibre edilmiş lazer interferometrenin tespit ettiği yer değiştirmenin toplamıdır. Etalon blok başlangıç pozisyonunda tek noktadan ölçülür. Sonrasında ikinci pozisyonda etalon bloğun diğer yüzü tek noktadan ölçülür (Şekil 3. 6).

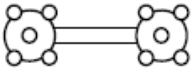
3.2.2.5.2 Tek Yönlü Ölçümler (İki yönlü ölçümlerle desteklenmelidir)

Tek yönlü ölçümler ikitaraflı ölçümlerle karıştırılmamalıdır, bunlardan farklı bir ölçüm tekniğidir. Tek yönlü ölçümler adım etalonları, küre etalonları ve bazı lazer interferometre methotlarını içermektedir (Şekil 3.7).

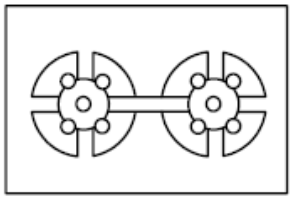
Kalibre edilmiş bir test mesafesi tek yönlü test mesafesi ve iki yönlü test mesafesinin aritmetik ortalaması alarak tek noktadan-tek noktaya ölçülmüş iki yönlü mesafesi aracılığıyla belirlenir.



a) Step Etalon

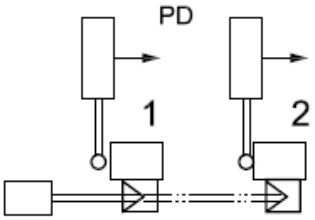


b)Küresel Etalon

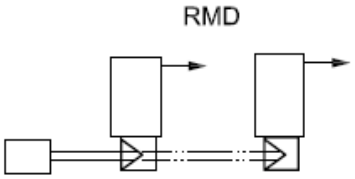


c) Düzlem üzerinde Küresel Etelon

(Üst görünüşten her bir kürenin beşer defa problama işleminin gösterimi)



d) İki yönlü kontak problama ile Lazer



e) Kontak probu olmadan Lazer

Açıklama;

PD: Problama yönü

RMD: Ram hareket yönü

1 Posizyon 1

2 Posizyo

Şekil 3.7 Tek yönlü ölçüm örnekleri

Tek yönlü ve kısa etalon bloklarından oluşan kalibre edilmiş test mesafeleri

Etalon bloğu ölçüm hattı üzerinde bulunmalıdır yani etalon bloğun ekseni ölçüm hattının ekseniyle aynı yönde ve hizada olmalıdır. Etalon bloğun yeri ölçüm hattına mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Hatta sabitleme kolaylığı için blok KÖM tablasının yüzeyi yakınına yerleştirilir.Kısa etalon blok üç defa ölçülmelidir. Tespit edilen hatalar kronolojik sırada belirtilmelidir. E_{150} ile test durumunda zıt yönde yönlendirilmiş problardan aynı ölçümler alınıyorsa üç adet kısa etalon blokları ile ilk başta tek prob yönlendirmesiyle ölçülm alınmalı sonrasında zıt yöndeki prob ile ölçüm işlemi tekrar edilmelidir.

Çift yönlü ve tek yönlü kronojik sıralamalı üçer ölçümdeki karşılıklı hata değerleri birbirlerine eklenerek kalibre edilmiş test mesafesinin hata değeri bulunur. Bu işlem beş mesafe için ölçüm hatlarında tekrar edilir. Her bir ölçüm hattı için on beş adet tek yönlü, üç adet çift yönlü kısa etalon blok ölçümü içermektedir.

Çift Yönlü Ölçümlerde Kullanılan Artefaktlar

Çift Yönlü Ölçümde Kullanılan Adım Etalonlar

Çift yönlü ölçümde adım etalon için her bir etalon yüzeyinde birbirinden ayrı ortalama koordinatlarda üçer ölüm alınmalıdır. Mesafe ortalama koordinatlar aracılığıyla belirlenir. Ölçümler çift yönlü gerçekleştirilmelidir. Kısa etalon bloklarının hataları ile kombine ederek

tek noktadan- tek noktaya ölçüm işleminde dengeli bir ölçüm almak için çift yönlü ölçüm işleminde kullanılan adım etalonunun yüzeyindeki üç noktadan alınan değerlere ihtiyaç vardır.

Çift Yönlü Ölçümde Küre Etalon ve Küre Etalonlu Düzlemler

Küre Etalon ve Küre Etalonlu Düzlemler gibi dairesel yüzeyli artefaktlar ile çift yönlü ölçüm yöntemi her bir dairenin beş noktadan problanması ve merkezden-merkeze mesafenin belirlenmesinden meydana gelir.

Çift Yönlü Ölçümde Temaslı Problama ile Lazer İnterferometre

Çift yönlü bir ölçüm Lazer interferometre ve etalon yüzeyi ile gerçekleştirilebilinir. Buradaki etalon yüzeyi düz veya dairesel olabilir.

Ölçüm işlemi KÖM tarafından problanan etalon yüzeyi yer değişiminin Lazer İnterferometre ile ölçümünü içermektedir. Etalon yüzeyi beraberinde bir kızak veya taşıyıcı sistem ile birlikte lazer geri yansıtıcıya sahiptir.

Etalon yüzeyinin dairesel olduğu durumlarda dairenin merkez konumu

*Çift Yönlü Ölçümde Küre Etalon ve Küre Etalonlu Düzlemle'*de anlatıldığı gibi beş defa ölçülmelidir. Etalon yüzeyinin düz olduğu durumlarda *Çift Yönlü Ölçümde Kullanılan Adım Etalonlar*'de anlatıldığı gibi her bir pozisyonda ve ortalama koordinatlarda üçer defa problanmalıdır. Problama yönü ilk ve son pozisyon için de aynıdır.

Çift Yönlü Ölçmede Temassız Problama İle Lazer İnterferometre

Bazı durumlarda KEÖC'nın yer değişimini ölçmek için geri yansıtıcılı bir prob ve Lazer İnterferometre kullanmak daha doğrudur.

Her bir Lazer İnterferometre ile ölçüm çift yönlü ölçüm olarak değerlendirilir. Temaslı prob kullanılmayan Lazer İnterferometre sistemleri ile test edilen KEÖC'ları için gerekli olan bütün geometrik hatalar belirlenemeyebilinir. Bu nedenle temaslı problamaya göre daha büyük hatalar meydana gelebilir. Bu gibi durumlarda temas probuna sahip bir kalibre edilmiş test mesafesi kullanılmalıdır. Ayrıca dışarıdan tahrikli bir hata telafi edicisi kullanarak bu durum telafi edilebilinir.

BÖLÜM 4

ÖLÇME İŞLEMINDE HATA VE BELIRSIZLIKLER

Belirsizlik kelimesi net olmayışı, kesin olmayışı ifade etmektedir. Ölçme işleminde belirsizlik ifadesi de yine belirsizlik kelimesinden anlaşılacağı gibi net olmayışı ifade eder.

Ölçme esnasında gerçek değerden sapma ifadesi hesaplanır ve ölçüm değeri ile birlikte ifade edilerek ölçüm değerini daha geniş bir sayısal değerde ifade eder. Bu geniş ifade sayesinde ölçüm değerimizin hangi sınırlar içerisinde bulunduğunu ve doğruluk düzeyini daha hassas bir şekilde öğrenmiş oluruz.

4.1 Ölçüm Belirsizliği Neden Önemlidir

Ölçüm belirsizliği elde edilen sonucun kalitesinin bir göstergesidir. Sonuçla birlikte ölçüm belirsizliği ifadesi kullanılırsa sonucu kullananlara ölçme işleminin kalitesi hakkında bilgi aktarılmış olunur. Sonucu kullanacak kişiye sonucun güvenirliğini değerlendirme imkanı sağlayarak kullanacağı alanda önlem almasını sağlamış olur. Zaten sonucun kullanılabilmesi için güvenirliğin veya belirsizliği bilinmesi gerekmektedir.

Ölçme belirsizliği hesaplarının gereksinimi son dönemlerde oldukça artmıştır. Özellikle imalatta kaliteye daha fazla önem verilmesiyle birlikte bu konulara eğilim artmıştır. Ölçme belirsizliğinin ölçme işlemi sonucunda sayısal olarak ifade edebilmemiz bize objektif bir yaklaşım sağlamaktadır. Ölçme işlemini gerçekleştiren kişinin, ölçüm sonucunun etkisini anlaması bu sayısal ifadeyle daha doğru bir biçimde gerçekleşmektedir. Doğru karar verebilmek için sonucun tamlığının saptanması gerekmektedir. Ölçme belirsizliğinin analizleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve halen yapılmaya devam etmektedir.

Günümüzde laboratuarlar genel olarak ölçüm belirsizliğini saptama yönünde teşvik edilmektedir. Ölçüm belirsizliğini rapor etme gereği olmasa bile, bu saptama, laboratuarcının kendi sonuçlarının kalitesini görebilemesi açısından önemlidir. Ölçüm belirsizliğinin saptanma süreci, hangi belirsizlik bileşenlerinin daha etkili olduğunu, böylece nerelerde, test yönteminin hangi aşamalarında iyileştirmelere gerek olduğunu gösterecektir. Öte yandan, bazen, sayısal olarak büyük belirsizlik düzeyinin bile kabul edilebilir sınırlar içinde olabildiği görülebilir ve bu durumda daha ucuz, duyarlılığı daha düşük cihazların kullanılabilmesi ya da kalibrasyon aralığının daha da genişletilebilmesi mümkün olabilir. Ölçüm belirsizliğinin rapor edilmesi, sonucu kullananlarda bir güvensizliğe yol açabilir. Ancak bunun uzun vadede aşılması mümkündür. Daha iyi cihaz sistemleriyle, çevresel ve dış etkenlerin daha iyi kontrol edilmesiyle ve yöntem performansının sürekli üst düzeyde tutulmasıyla daha düşük belirsizlik düzeylerini yakalamak olasıdır.

ISO/IEC 17025: 1999 standardı (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories), ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesi ve rapor edilmesi ile ilgili gereklilikleri vermektedir. Bu gereklilikler, ilgilenilen teknik alanın özelliklerine ve ölçümün kalibrasyon ya da test oluşuna göre değişmektedir. Test ve kalibrasyon laboratuarları, bir kalite sistemine göre çalıştıklarını, teknik olarak yaptıkları iş için yetkin olduklarını ve geçerli sonuçlar verdiklerini göstermek için bu gereklilikleri yerine getirmelidir. Kalibrasyon laboratuarlarında kalibrasyon işlemlerinde kullanılan referans cihazların belirsizliği, kullanılan ulusal ya da uluslararası standartlar belirlenmelidir. Test laboratuarlarında, çalışılan her bir parametre için ölçüm belirsizliği belirlenmiş olmalıdır.

4.2 Ölçüm Belirsizliğinin Tarihsel Gelişimi

Ölçüm sonuçlarının belirsizliklerinin saptanabilinmesi için çok farklı yaklaşımlar vardır. Bu konu üzerine uzun yıllardır çalışmalar gerçekleşmektedir. Öncelerde belirsizlik hesaplamalarını birleştiren uluslararası bir anlaşmanın yokluğu bu prosesin gelişimini olumsuz etkilemiştir. 1977'de Uluslararası Ağırlık ve Ölçü Komisyonu (CIPM, Comite International des Poids et Measures) uluslararası bürosunun (BIPM, Bureau International des Poids et Mesures) ulusal metroloji enstitüleri ile işbirliği yaparak söz konusu probleme bir çözüm bulunması için çalışmalar başlatmıştır. BIPM çalışma grubunun oluşturulmasıyla birlikte 1980 tarihinde INC-1 gereksinimleri oluşturulmuştur. Çalışma 1981'de CIPM tarafından onaylanmış ve 1986'da tekrar revize edilmiştir (CI-1981, CI-1986). INC-1 gereksinimleri kısa ve ana hatları oluşturan basit bir çalışma olduğundan CIPM endüstrinin ve ticari işletmelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek daha detaylı bir çalışma için ISO' ya başvurmuştur. Bu sorumluluk ISO Metroloji Teknik Danışma Kurulunun (TAG 4) 3. çalışma grubuna aittir. Standardizasyon, laboratuar akreditasyonu, kalibrasyon ve bunun gibi metroloji hizmetlerinde kullanılmak üzere ölçme belirsizliklerini ifade eden bir rehber referans oluşturulması hedeflenmiştir. Belirsizlik değerlerini hakkında mümkün mertebe doğru yaklaşımlar oluşturmak ve ölçüm sonuçlarının uluslararası alanda mukayese edilebilmesi sağlanmıştır [10].

Bu çalışmaların sonucunda GUM (Guide to Expression ofUncerainty in Measurement) veya daha çok kullanılan kısaltmasıyla GUM, 1993 tarihinde tamamlanmıştır (1995'te düzeltilip tekrar basılmıştır). ISO, Uluslararası Ağırlık ve Ölçü Bürosu, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), Uluslararası Klinik Kimya Federasyonu, Uluslararası Teknik ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), Uluslar arası Teknik ve Uygulamalı Fizik Birliği (IUPAP), Uluslararası Legal Metroloji Organizasyonu (OIML) bu çalışmayı yürüten ve destekleyen uluslar organizasyonlardır[10] GUM tüm dünyada geniş bir kullanım alanı bulmuştur. 1500 üyeye sahip Standart Laboratuarlar Ulusal Konferansı GUM'u baz alınarak RP-12 adı altında bir belirsizlik saptanması ve rapor edilmesi çalışması hazırlanmıştır.

ISO, GUM' un Fransızca, Almanca, İtalyanca, Macarca, Japonca, İspanyolca ve Rusça tercümelerini yayınlamıştır. GUM metotları Kuzey Amerika Ölçme Standartları Birliği (NORAMET), Laboratuar Akreditasyon Programı Ulusal Gönüllüleri (NAVLAP), Amerika

Laboratuar Akreditasyonu Derneği (ALA), Avrupa Ölçme Standartları Birliği (EUROMET), Avrupa Akreditasyon İşbirliği (EA), Avrupa Birliği (EU) ve benzeri bölgesel veya ulusal metroloji organizasyonlarınca da kabul [10].

4.3 Bazı Terimler ve Tanımları

Hata ve Belirsizlik

Hata ölçme işlemi sonucunda ölçülen niceliğin gerçek değeri ile ölçüm sonucu arasındaki farktır. Tanımdan da anlaşıldığı üzre hata ve ölçme belirsizliği ifadeleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ölçme belirsizliğini **ö**lçme işlemi için belirlediğimiz bir tolerans değeri olarak da düşünülebilmektedir. Özelliklere uygunluğun veya ugunsuzluğun kanıtları sağlandığında, tahmin edilen ölçme belirsizliği dikkate alınmalıdır. Ölçme sonucu üst ve alt özellik sınırlarına yaklaştığında sorun ortaya çıkar. Bu durumda, ölçme sonucu + / - genişletilmiş ölçme belirsizliği, özellik sınırlarından birini ihtiva ettiğinden, özelliklere uygunluğun veya uygunsuzluğun kanıtlanması mümkün değildir. Bu yüzden, doğabilecek sorunları çözmek için tedarikçi / müşteri sözleşmesi öngörülmelidir. ISO 14253 standartı bu özelliğinin ele alınması, ölçme belirsizliğinin nasıl ele alınacağını açıklar ve özelliğe uygunluğun veya uygunsuzluğun kanıtlanması için kesin kuralları tesis eder [20].

Hata ve belirsizlik kavramlarını birbirinden ayırmak bu aşamada önemlidir. Hata tek bir değerdir ve prensipte hata bir düzeltme faktörüyle sonuca etki etmektedir. Hata idealleştirilmiş bir ifadedir analitik bir prosedürle bulunamaz. Normal şartlarda hata değerinin net bir sayısal ifadesi söz konusu değildir. Belirsizlik ise aralık içerisinde ifade edilmektedir ve genel olarak ölçme belirsizliği ölçüm sonucunu düzeltmek için kullanılmaz. Herhangi bir ölçme işleminden sonra yapılan bir analiz ve bunun sonucuyla ölçme sonucunda yapılabilecek bir düzeltme ile ölçümdeki hata faktörü çok küçük değerlere indirilebilmektedir. Ancak belirsizlik sınırları hala büyük olabilir ve bu durumda ölçme sonucunun gerçek değere yakınlığından emin olunamamaktadır. Bir ölçme sonucunun belirsizliği hata değerinin bulunması veya düzeltme işleminden sonraki hata değerinin tespiti ile yorumlanamamaktadır [11,12].

Hata ve Belirsizlik Arasındaki Fark

Hata ve belirsizlik arasındaki diğer bir önemli fark hata değerinin analizle düzeltilmesi sonucu oluşan değerin gerçek değere çok yakın olması veya göz ardı edilebilecek kadar küçük olması söz konusu olabilir. Ancak belirsizlik değeri her şekilde büyüktür ve göz ardı edilemez. Bunun sebebi analizi yapan kişinin hiç bir şekilde gerçek sonuca ne kadar yakın olduğunu tahmin edememesinden kaynaklanır. Hata türlerini iki ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlardan birincisi ölçme değerlerinden giderilebilen hatalar; bunlar kaba hatalar (yanlışlıklar) ve düzenli hatalar (sistematik) olmak üzere ikiye ayrılır. İkincisi ise düzensiz (aksidentel) hatalardır. Ölçmelerin sonunda elde edilen ölçme farkları uygulanan ölçme yönteminden beklenen değerlere göre en önemli derecede büyük ise, ölçmedeki bu hatalara ‘’kaba hata’’ denir. Dikkatsizlik ve yorgunluk gibi nedenlerden dolayı meydana gelen hatalardır bunlar. Kaba hatalar, ölçmenin tekrarlanması ve kontrol ölçmeleri ile giderilirler.

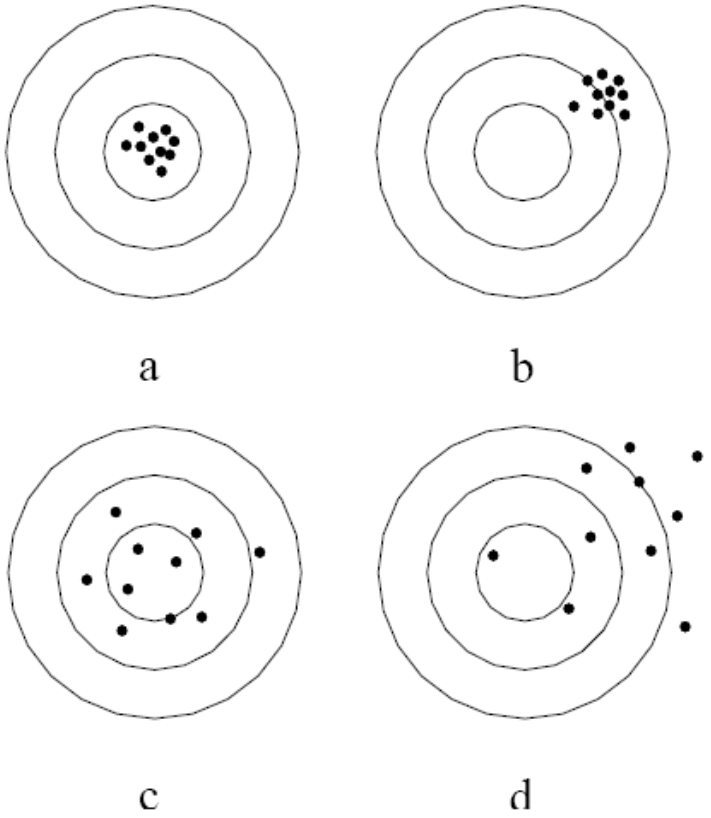
Düzenli hatalar ise ölçme sonucuna daima aynı biçimde etki eden hatalardır. Genellikle alet hatalarından (şeridin standart boydan farklı olması, mira boyu) ve kısmende ölçme araçlarının hatalı kullanılmasından kaynaklanır.

Sistematik ve Düzensiz Hatalar

Sistematik hata fark edilmesi çok zor olmayan bir hata çeşididir. Her ölçme işlemi sırasında aynı değerde bir hata meydana gelir ve ölçme aletinden kaynaklanan bir hata ise hata kısmı giderilene kadar veya hata küçülene kadar kontrol, düzenlemeler gerçekleştirilir. Uygun bir ölçme işlemi uygulayarak veya düzenli olaran hata miktarlarını hesaplayım ölçmelere düzeltme olarak ekleyerek hata düzeltme işlemi gerçekleştirilir.

Düzensiz hatalar kaba ve sistematik hataların dışında kalan, bazen işlemi olunlu yönde etkilerken bazende olumsuz yönde etki eden gözden kaçınılmayan hatalardır. Bu hatalar işçi hatasından, kullanılan makinanın hatasında, malzeme hatasından ölçme aleti hatasından meydana gelebilir.

Ölçme işleminde hata kaba hatalar düzeltilden sonra geriye kalan raslantısal ve sistematik hataların toplamıdır [13].



Şekil 4.8 Rastlantısal ve Sistematik Hataların Gösterimi

Şekil 4.8'de rastlantısal ve sistematik hatalar arasındaki farkı daha kolay fark edebiliriz. İşaretlenmiş her bir noktanın bir doğru ölçüm sonucu olduğunu ve daireleri de doğru ölçüm sınırları olduğunu düşünürsek a'da sonuçlar tutarlı, gerçek değere daha yakın kalmışlardır. Buradan çıkarılacak sonuç ölçüm değerlerinin az miktarda sistematik ve

rastlantısal hata olduğudur. b'de ise ölçülen değerler doğruluk sınırlarının dışında kalmışlardır, bununla beraber birbirleriyle tutarlıdırlar ve yakındırlar. Buradan anlaşılacak sonuç b ölçümlerinde düşük oranda rastlantısal hata ve büyük oranda sistematik hata mevcuttur. C şeklinde ölçme sonuçları geniş bir alan içine dağılmışlardır ancak bileşkeleri gerçek değer sınırlarına yakındır. Buradan c için yapılan ölçümlerin az miktarda sistematik hata ve büyük miktarda rastlantısal hata ile etkilendikleri anlaşılmaktadır. d şeklinde ise ölçme

sonuçları geniş bir alana gerçek sonuç merkezde kalmayacak şekilde dağılmıştır. Burada ölçme işleminin büyük miktarda rastlantısal ve sistematik hata ile etkilendiği anlaşılmaktadır.

Sistematik ve rastlantısal hataları birbirlerinden tam anlamıyla ayırt etmek mümkün değildir. Rastlantısal ve sistematik hataların etkileri uygulamadan uygulamaya değişir.Bir uygulamada sistematik hataya sebebiyet veren bir etken diğer uygulama için rastlantısal hata kategorisinde olabilmektedir [14].

Tolerans / T

Üst ve alt tolerans arasındaki fark anlamına gelmektedir.
Tolerans işaretsiz bir büyüklüktür. Tolerans iki taraflı veya tek taraflı (bir tarafta müsaade edilen en fazla değer, diğer sınır değeri sıfır) olabilir, fakat tolerans bölgesi anma değerinin bulunması zorunlu değildir.

Tolerans bölgesi / tolerans aralığı
Tolerans sınırları dahil ve bunların içindeki karakteristiğin değişken değerlerini kapmaktadır [15].

Tolerans sınırları / sınır değerler

Müsaade edilen değerlerin üst ve/veya alt sınırlarını veren karakteristiğin belirtilen değerleri ifade etmektedir [16].

Özellik

İş parçası karakteristiği toleransında veya ölçme donanımı karakteristiğinde müsaade edilen en fazla hata değerleri. Ancak bu ifadelerin kontrolü için özelliğin çizimleri modelleri veya ilgili diğer dökümanları yanında yer almalı veya bunlara atıfta bulunmalı, uygunluğun kontrol edilmesi sağlanmalıdır.

Özellik bölgesi / özellik aralığı

Özellik sınırları dahil bunlar arasındaki, iş parçası karakteristiği ve ölçme karakteristiğinin değişken değerlerini ifade etmektedir.

Özellik sınırları

İş parçası özelliğinin tolerans sınırları veya ölçme donanımı karakteristiğinin müsaade edilen en fazla hatasıdır.

Üst özellik sınırı / ÜÖS

- İş parçası karakteristiğinin müsaade edilen tolerans sınırına ait izin verilen değerinin üst sınırlarını veya
- Ölçme donanımı karakteristiğinin izin verilen hatalarına ait izin veren değerin üst sınırlarını veren belirtilmiş değer.

Alt özellik sınırı / AÖS

- İş parçası karakteristiğinin müsaade edilen tolerans sınırına ait izin verilen değerinin alt sınırlarını veya
- Ölçme donanımı karakteristiğinin izin verilen hatalarına ait izin veren değerin alt sınırlarını veren belirtilmiş değer.

Ölçülen büyüklük / Y

Muayeneye tabi tutulan belirli büyüklük [16].

Ölçme sonucu / y

Ölçme ile elde edilen, ölçülen değere atfedilen değeri ifade eder. Sonuçla birlikte deliller, düzeltilmiş sonuç verilmeli ve birkaç sonucun ortalamasının alınıp alınmadığı ifade edilmelidir.

Ölçme sonucunun komple ifadesi (y') ölçme belirsizliği ile ilgili bilgiyi kapsar.

Anma değeri

Bir karakteristiğin tasarım özelliğinde veya çizimde verilen değeri.

Ölçmenin standart belirsizliği / u

Standard sapma olarak ifade edilen ölçme sonucunun belirsizliği [18].

Ölçmenin birleşik standart belirsizliği / uc

Sonuç, çok sayıda diğer büyüklüklerden elde edildiğinde terimlerin pozitif karelerinin kare köklerinin toplamına eşit olan, bir ölçme sonucunun standard belirsizliği, bu terimlerin ölçme sonucunun, bu büyüklüklerdeki değerlerle değişimine göre ağırlıklandırılmış diğer büyüklüklerin varyansı veya kovaryansıdır.

Ölçmenin genişletilmiş belirsizliği / U

Genişletilmiş belirsizlikle tarif edilen aralıkla belirli bir güven seviyesi arasında ilişki kurmak için, ölçme sonucu ve bunun birleşik standard belirsizliğiyle karakterize edilen olasılık dağılımına ilişkin açık veya kapalı varsayımlara gerek duyulur. Bu aralığa atfedilen güven seviyesi, yalnızca bu tür varsayımların ispatlanabilme derecesi ile anlaşılabilir.

Gerçek ölçüm değerinin de içinde bulunduğu garanti edilen biraralıktır. *U* değeri, *c u* değerinin bir " *k* " güvenlik katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilebilir.

k katsayısının seçimi ölçümün güvenilirliğine göre yapılır [11].

Kapsam faktörü / k

Genişletilmiş belirsizliği elde etmek için birleşik standard belirsizliğin çarpanı olarak kullanılan sayısal faktör.
Kapsam faktörü, (k) normal olarak 2 ile 3 arasındadır [18].

Ölçme sonucu, tam ifade / y'

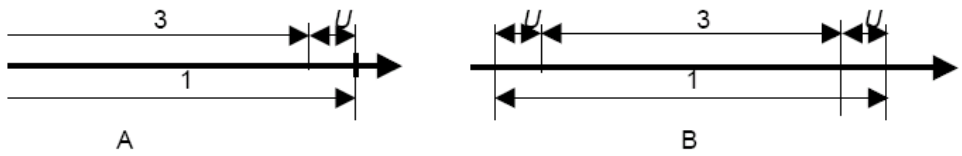
Genişletilmiş belirsizliği, (U) kapsayan ölçme sonucudur.

Uygunluk / uygun olma

Belirtilen özelliklerin sağlanması [19].

Uygunluk bölgesi

Ölçmenin genişletilmiş belirsizliği, (U) tarafından daraltılmış özellik bölgesi (Şekil 4.9). Özellikler, ölçmenin genişletilmiş belirsizliği tarafından üst ve/veya alt özellik sınırlarında daraltılmıştır.



Şekil 4.9 Ölçme İşleminin Uygunluk Bölgesi

Açıklama

A Tek taraflı özellikler

B İki taraflı özellikler

1 Özellik Bölgesi

2 Uygunluk Bölgesi

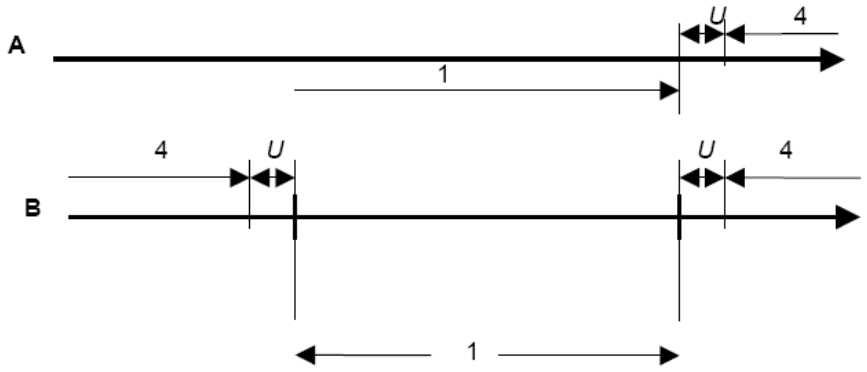
3 Uygunsuzluk / uygun olmama

Belirtilen özellikleri sağlamama [19].

Uygunsuzluk bölgesi

Genişletilmiş ölçme belirsizliği, (U) özellik bölgesinin dışına uzanan bölge/bölgeler (Şekil 4.10).

Not - Özellikler ölçmenin genişletilmiş belirsizliği tarafından üst ve/veya alt özellik sınırlarında genişletilmiştir.



Şekil 4.10 Ölçme İşleminin Uygunsuzluk Bölgesi

Açıklama

A Tek taraflı özellikler

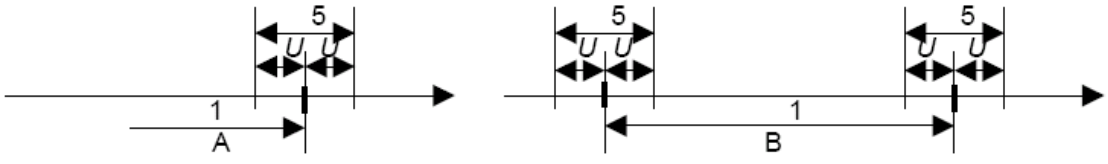
B İki taraflı özellikler

1 Özellik bölgesi

4 Uygunsuzluk bölgesi

Belirsizlik aralığı

Ölçme belirsizliği dikkate alındığında, özellik sınırlarına yakın olan uygunluğun veya uygunsuzluğun anlaşılamadığı aralığı ifade eder.



Şekil 4.11 Belirsizlik aralığı

Açıklama:

A Tek taraflı özellikler

B İki taraflı özellikler

1 Özellik bölgesi

5 Belirsizlik aralığı

4.4 ISO 14253 Standardı ile Ölçme Belirsizliği

Ölçme belirsizliği ile ilgili olan bu standart ölçüm cihazının veya iş parçasının özelliklerinin karakteristiklerinin, belirtilen toleranslara (iş parçası için) veya izin verilen en büyük hata sınırlarına (ölçme donanımı için) uygunluğunun veya uygunsuzluğunun belirlenmesine dair kuralları kapsar.

Ayrıca açık kararlar (özelliklere uygunluk veya uygunsuzlukta) alınamadığı zaman durumun nasıl yönetileceğine ait kuralları belirtir, meselâ ölçme sonucu, özelliklerin sınırları etrafında, belirsizlik bölgesi içine düştüğü bir durum gibi.

Bu standartta genel geometrik mamül özellikleri standartlarında belirtilen bir başka deyişle aşağıda verilenler dahil ISO/TC 213 tarafından hazırlanan standartta tarif edilen özellikler uygulanır.

Bu özellikler;

-İş parçası özellikleri (genellikle tolerans sınırları)

-Ölçme donanımı özellikleri (genellikle müsaade edilen en fazla hata) olarak verilir.

Genel Geormetrik Mamül Özellikleri standartları ile bağlantılı belirtilenlerden başka özelliklere de uygulanabilirler.

Bu standart sınır mastarları ile yapılan muayenelerde uygulanmaz. Sınır mastarları ile yapılan muayeneler ISO/R 1938 kapsamındadır [20].

GUM methodu ile ölçüm işleminin doğru belirsizlik değerini (U_C) kolayca belirleyebiliriz.

Basitleştirilmiş tekrarlamalı USO/TR 14253-2 prosedürü U_E belirsizlik değerini diğer belirsizlik bileşenlerinin (U_E ,U_C) de hesaba katılmasıyla hesaplamaktadır.

Bu hesaplama yönteminde bütün bilinen bileşenleri en kötü etki edeceği durum hesaba katılarak tahmin edilen belirsizlikler için en üst sınır hesaplanır. Bu şekilde en güvenli alan hesaplanmış olunur.

Teknik raporun basitleştirilmiş, tekrarlı metodunda aşağıdaki belirtilen konular baz alınmıştır:

- Bütün belirsizlik bileşenleri belirlenir,

- Uygulanacak olan muhtemel düzeltmeler tercih edilir,

- Her bir bileşenin ölçüm belirsizliği sonucuna olan etkisi standart belirsizlik u_{xx} olarak hesaplanır. Buna belirsizlik bileşeni denir.

- Bir iterason, tekrarlama prosesi uygulanır. Bu standartta PUMA tercih edilir.

- Her bir belirsizlik bileşenlerinin u_{XX} değerlendirilmesi tip A veya tip B yöntemiyle de gerçekleştirilebilir,

- Eğer mümkünse Tip B değerlendirmesi seçilir. Bu yöntemle ilk iterasyonda maliyet bütçesi hakkında kabaca fikir edinmiş oluruz.

-Belirsizlik bileşenlerinin toplam etkisi aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanır;

$$u_C = \sqrt{{u_{x1}}^2 + {u_{x2}}^2 + {u_{x3}}^2 + \ldots + {u_{xn}}^2} \qquad (4.1)$$

- (4.1) sadece doğrudan (siyah kutu) yönteminde ve belirsizlik bileşenlerinin u_{XX} birbirinden bağımsız olduğu durumlarda geçerlidir.

Basitleştirmek için bileşenler arasındaki ilgili etki katsayısı şu şekilde değerlendirilir,

$$\rho = 1 - 1{,}0 \qquad (4.2)$$

Eğer belirsizlik bileşenlerinin birbirleriyle bağlantılı olup olmadığı bilinmiyorsa hepsi bağıntılı varsayılır ve D = 1 veya -1 alınır.

Bağıntılı bileşenler formüle yerleştirilmeden önce aritmetik olarak eklenir.

Genişletilmiş belirsizlik ifade aşağıdaki formül aracılığıyla bulunur. Buradaki k değeri 2 olarak ifade edilir ve kapsama alanını ifade eder.

$$U = k \times u_c \qquad (4.3)$$

Basitleştirilmiş iterasyon (tekrarlama) metodu normalde belirsizlik bileşenlerinin hesaplanması işleminin en az iki iterasyonundan meydana gelmektedir.

Bunlardan birincisi oldukça çabuk, kabaca ve ucuz olan hesaplamadır belirsizlik ifadelerinin en büyüklerinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

Devamında gelen iterasyonlar, eğer varsa, muhtemel kabul edilebilir (u_c ve U) değerlerini en üst sınırın en büyük bileşenden küçüklerine kadar hepsini hesaplayarak daha kesin değerler oluşturur.

Basitleştirilmiş iterasyon modeli iki amaç için kullanılabilir;

1. Sonucu verilmiş bir ölçme prosesi için ölçüm belirsizliğinin yönetilmesi

(ölçüm sonucunun ölçüm prosesi bilinen başka bir veya birden fazla ölçüm sonucu ile kıyaslanması ile hesaplanabilinir.)

2. Belirsizlik bir ölçüm prosesi için yönetimdir. Yeterli bir ölçüm prosesinin gelişimi için gereklidir. Örneğin;

$$U_E \leq U_T$$

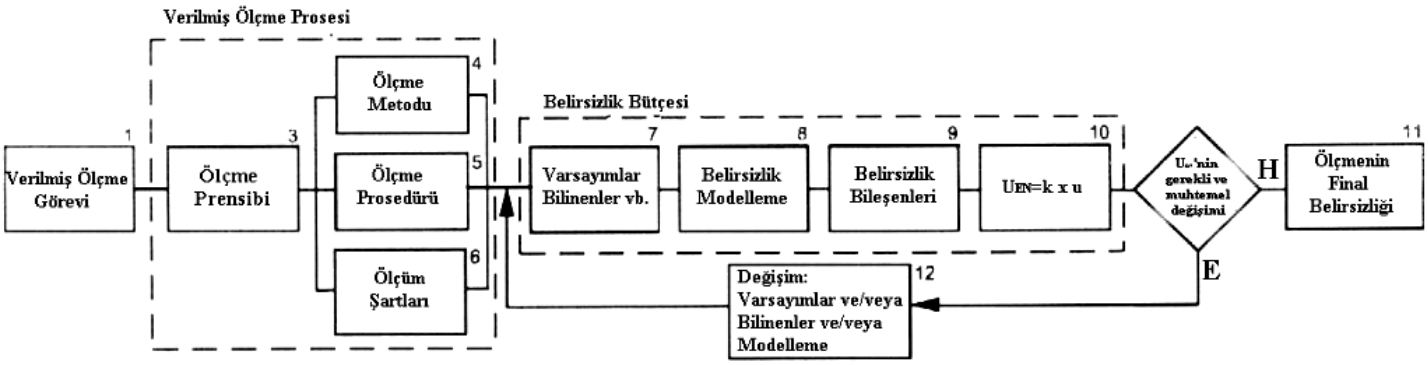
olması durumu gibi.

4.5 Belirsizlik Yönetimi için Prosedür – PUMA

Ölçme işleminin belirsizlik bütçesi ve belirsizlik raporunun oluşturulmasını sağlamak için bir ön sorgulama gereklidir. Bu bölümde bu konular açıkça belirlenir ve belirtilir. Ölçme işleminin belirsizliği geometrik ürün özellikleri karakteristiklerinin ölçüm kalitesini geometrik ürün özellikleri standardına göre ifade edilmesidir. Belirsizlik raporunun belirlenebilmesi için ölçüm işleminin doğru bir şekilde tüm bileşenleriyle tanımlanması gerekmektedir.

Ölçmenin belirsizliği ölçüm değerinin, iş parçasının karakteristik tanımlarına veya ölçme ekipmanının geometrik mamul özellikleri standartlarında verilen metrolojik karakteristiklerine uyma kalitesinin bir ölçütüdür. Geometrik mamul özellikleri standartları konvensyionel gerçek değerlerin karakteristiklerinin uluslar arası standartlarla ölçülmesini tanımlamaktadır. Ayrıca geometrik mamul özellikleri standartları birçok uygulamada uygun ve konvansiyonel gerçek ölçüm prensiplerini, ölçüm metotlarını, ölçüm prosedürünü ve standart referans şartlarını tanımlamaktadır. Ölçme belirsizliği karakteristiklerin standartlaştırılmış konvansiyonel gerçek değerinden sapmaların artmasıyla yükselir [20].

Verilmiş ölçme görevi ve mevcut ölçme prosesi için ölçme belirsizliği yöntemi (Şekil 4.12)'de tanımlanmıştır. Ölçme prensibi (kutu 3), ölçme metodu (kutu 4), ölçme prosedürü (kutu 5) ve ölçme şartları (kutu 6) düzeltilmiş ve verilmiş kabul edilmiştir ve değiştirilemez. Buradaki tek görev ölçme belirsizliği problemlerini değerlendirmektir. Karar kutusunda karar için bilgiye ihtiacımız vardır. Bunun için U_R değeri ya hesaplanır ya da seçilir.



Şekil 4.12 Bir ölçüm prosesinin ölçüm sonucunun belirsizlik yönetimi

(ISO TS 14253-2, 1999)

Ölçme belirsizliğinin belirlenmesinde kullanılan işlem basamakları [20]

şu şekildedir;

• İlk değerlendirme ölçme metoduna göre (siyah kutu) yapılarak, kaba bir şekilde belirsizlik raporu hazırlanmaktadır (kutu 7-9). Bu rapor kaba olarak genişletilmiş belirsizliğin saptanmasında kullanılmaktadır U_{E1} (kutu 10). Bütün hesaplamalar U_{EN} olabilecek maksimum değere göre yapılmaktadırlar.

• İlk ölçme belirsizliği , U_{E1}, tahmini talep edilen ölçme belirsizliği değeriyle karşılaştırılır. Şayet U_{E1} kabul edilebilir bir değerse ($U_{E1} \leq U_R$) ilk belirsizlik raporu verilmiş ölçme prosesinin ölçme görevi için yeterli olduğunu ifade etmektedir. U_{E1} istenilen değerin üzerindeyse $U_{E1} > U_R$ yada istenen bir sabit belirsizlik yok, daha düşük ve doğru bir değer isteniyorsa işlem tekrarlanmaya devam edilmektedir.

• Sonraki adıma geçmeden önce belirsizlik etkenleri büyüklüklerine göre ayrılmalıdır. Birçok uygulamada az sayıda belirsizlik bileşeni, toplam belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik üzerinde baskın etkiye sahiptir(kutu 12).

• Kabulleri değiştirerek ya da belirsizlik birleşenleri hakkında daha fazla bilgi edinerek baskın belirsizlik birleşenleri için daha yüksek doğruluğa sahip bir üst sınır tahmini yapılır (kutu 12).

Böylece belirsizlik tahmin işlemini daha detaylı bir modelle veya daha yüksek çözünürlüklü bir ölçme prosesiyle değiştirilir.

• Ölçme belirsizliğinin daha düşük ve daha yüksek tamlıkta belirlenmesini sağlayacak rapor için ikinci tekrarlama yapılır (kutu 7-8).

• İkinci belirsizlik tahmini istenilen değerle karşılaştırılır. Eğer U_{E2} (kutu 10) kabul edilebilir değerde ise belirsizlik raporu verilen ölçme prosesinin ölçme görevi için yeterli olduğunu kanıtlamaktadır. Şayet U_{E2} değeri istenilen değerin üzerinde ise veya daha düşük bir değer isteniyorsa üçüncü ve belki de devam edecek şekilde tekrarlama yönteminin devamı gerekmektedir. Bu arada belirsizlik bileşenlerinin analizi özellikle o andaki en büyük belirsizlik etkenlerini içine alacak şekilde devam etmektedir (kutu 12).

• Eğer tüm imkanlar ve ihtimaller kullanıldığı halde istenilen U_{E2} değerinden küçük veya eşit $U_{EN} \leq U_R$, yüksek Doğrulukta bir üst sınır belirsizlik tahmini yapılamıyorsa bu belirsizlik hedefine ulaşmanın mümkün olmadığı kabul edilmektedir.

4.6 Ölçme Prosedürünün Gelişmesi ve Dizaynı İçin Belirsizlik Yönetimi (Raporu)

Bu bölümdeki belirsizlik yönetimi iş parçasının GPS karakteristiklerine veya ölçme cihazının metrolojik karakteristiklerine uygun bir ölçme prosesi belirlemeyi amaçlamaktadır.

Belirsizlik yönetimi Şekil 4.11 deki kutu 1 de verilen UT hedef belirsizliğinin ve ölçme görevinin temel tanımlanmasıdır. Bu tanımlamalar şirket politikasına bağlıdır ve üst yönetim tarafından yapılırlar. Yeterli veya uygun ölçme prosedürü, yapılan belirsizlik tahmininin hedef belirsizliğe eşit yada ondan küçük olduğu prosedürdür. Eğer yapılan değerlendirme hedef belirsizliğin çok altındaysa ölçme prosedürü tanımlanan ölçme görevi için ekonomik olarak uygun olmayan bir prosedürdür.

PUMA verilmiş ölçme görevi ve hedef belirsizlik için aşağıda belirtildiği gibi çalışmaktadır,

• İşletmenin uygun ölçme donanımı ve temel deneyimlerden yola çıkarak ölçme prensiplerinin (kutu 3) seçilmesi.

• İşletmenin imkanları ve tecrübesi temel alınarak başlangıç için bir ölçme metodu (kutu 4) , ölçme prosedürü (kutu 5) ve ölçüm şartları (kutu 6) belirlemesi yapmak ve bunları belgelemek.

• İlk değerlendirme doğrudan ölçme modeline göre yapılarak basit temel bir belirsizlik bütçesi (kutu 7-9) oluşturulmalıdır. Bu rapor kaba olarak genişletilmiş belirsizliğin saptanmasını sağlamaktadır.

• İlk belirsizlik tahmini U_{E1} hedef belirsizlikle karşılaştırılır U_T . Eğer U_{E1} kabul edilebilir seviyede ise belirsizlik raporu ölçme prosesinin ölçme görevi için uygun olduğunu belirtir.

$U_{E1} << U_T$ ise metodun veya prosedürün ya da her ikisinin birden değiştirilmesi gerekebilir.

Ancak proses yeterli olmakla beraber ölçme görevi için optimum, ekonomik değildir. Belirsizliği arttıracak şekilde değişiklikler yapılması gerekmektedir. U_{E2} (kutu10)

• Yeni değerlendirmelerde önce belirsizlik birleşenleri analiz edilir, dominant olanlar

belirlenir.

• $U_{E1} > U_T$ halinde yapılan kabuller değiştirilir, modelde bir değişime gidilir veya belirsizlik

Bileşenleri (kutu 12) hakkında daha çok bilgi edinilir. En büyük belirsizlik bileşeni için yüksek tamlıkta bir üst sınır tahmini gerçekleştirilir.

• Belirsizlik raporunun (kutu 7-9) daha yüksek tamlıkta ve daha düşük boyutta üst sınır (kutu 10) tahmininin yapılması için ikinci bir değerlendirme yapılır.

• İkinci belirsizlik tahmini hedef belirsizlikle karşılaştırılır. Eğer UE2 kabul edilebilir

Değerde ise ikinci tekrardan elde edilen verilerle oluşturulmuş belirsizlik raporu (kutu 11), ölçme prosesinin ilgili ölçme görevi için yeterli olduğunu kanıtlar. Eğer UE2 istenilen hedef

belirsizliğin üzerinde ise ($U_{E2} > U_T$) üçüncü ve gerekliyse diğer tekrarlamalara geçilir, belirsizlik etkenleri tekrar analiz edilir (kutu 12).

• Eğer tüm olasılıklar kullanıldığı halde $U_{En} \leq U_T$ şartını sağlayacak bir üst sınır limiti

değerlendirmesi yapılamadıysa, ölçme metodu, ölçme prosedürü veya ölçüm şartları U_{En}

belirsizliğini istenilen değere düşürecek şekilde değiştirilir. Daha sonra tekrarlama

prosedürü ilk denemeden tekrar başlar.

• Eğer metot, prosedür ve şartlarda yapılan değişmeler (kutu 13) bizi istediğimiz hedef belirsizliğin altına veya ona eşit bir değere götürmezse son çare olarak ölçme prensibi değiştirilmek (kutu 14) suretiyle prosedürden tekrar başlanır.

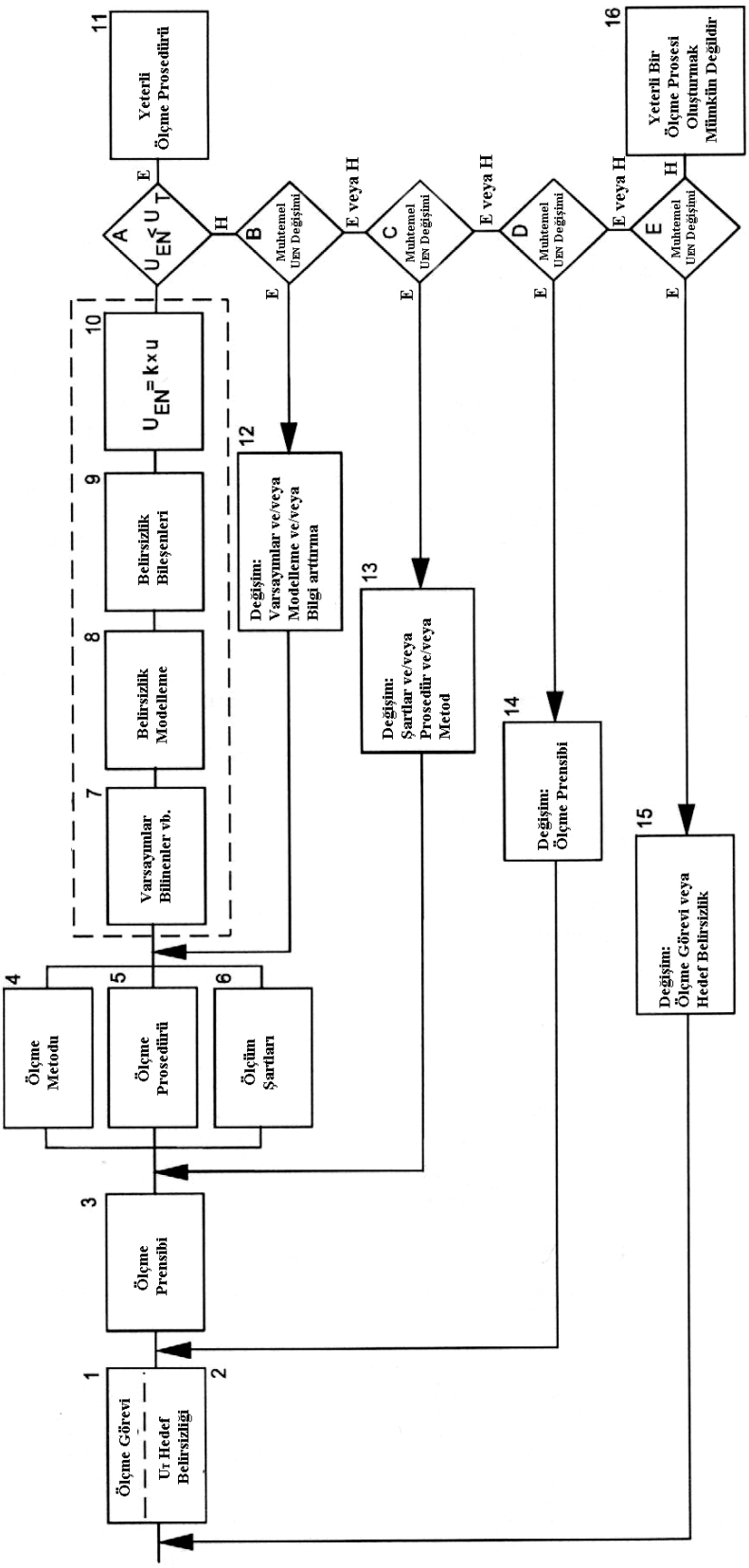
• Ölçme prensibi ve bununla alakalı tekrarlar da bizi aradığımız değerlere götürmezse

yapılması gereken ölçme görevini ve/veya hedef belirsizliği (kutu15) değiştirmek ve prosedürden

yukarı tekrar başlanır.

• Eğer ölçme görevi veya hedef belirsizlik değişimi mümkün değilse uygun bir ölçme

prosesinin mevcut olmadığı ispat edilmiş olmaktadır (kutu 16).



Şekil 4.13 Belirsizlik raporu yönetimi (ISO TS 14253-2, 1999)

4.7 Ölçme İşleminde Hata ve Belirsizlik Kaynakları

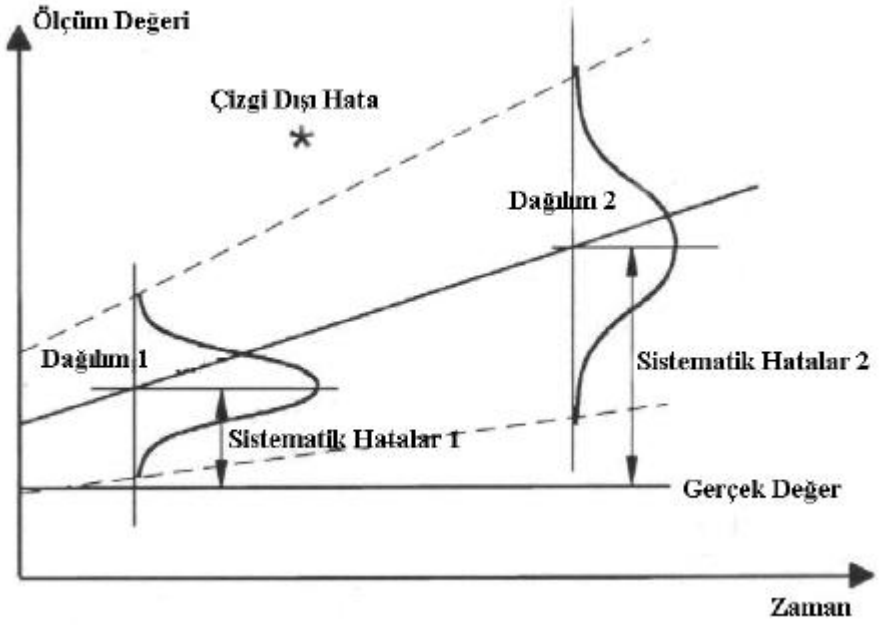
Ölçme hataları standartlarda 4 farklı hata tipiyle tanımlanmaktadır;

• Sistematik hatalar

• Rastlantısal hatalar

• Sürüklenme

• Çizgi dışı hatalar



Şekil 4.14 Ölçme işleminin hata tipleri

Tüm hatalar doğalarında sistematik olarak oluşmaktadır. Hata sebebi gerekli değilse veya çözünürlük seviyesi yeterli değilse sistematik olmayan hata olarak kabul edilmektedirler. Sistematik hatalar boyut ve işaretlerle tanımlanır (+ veya -).

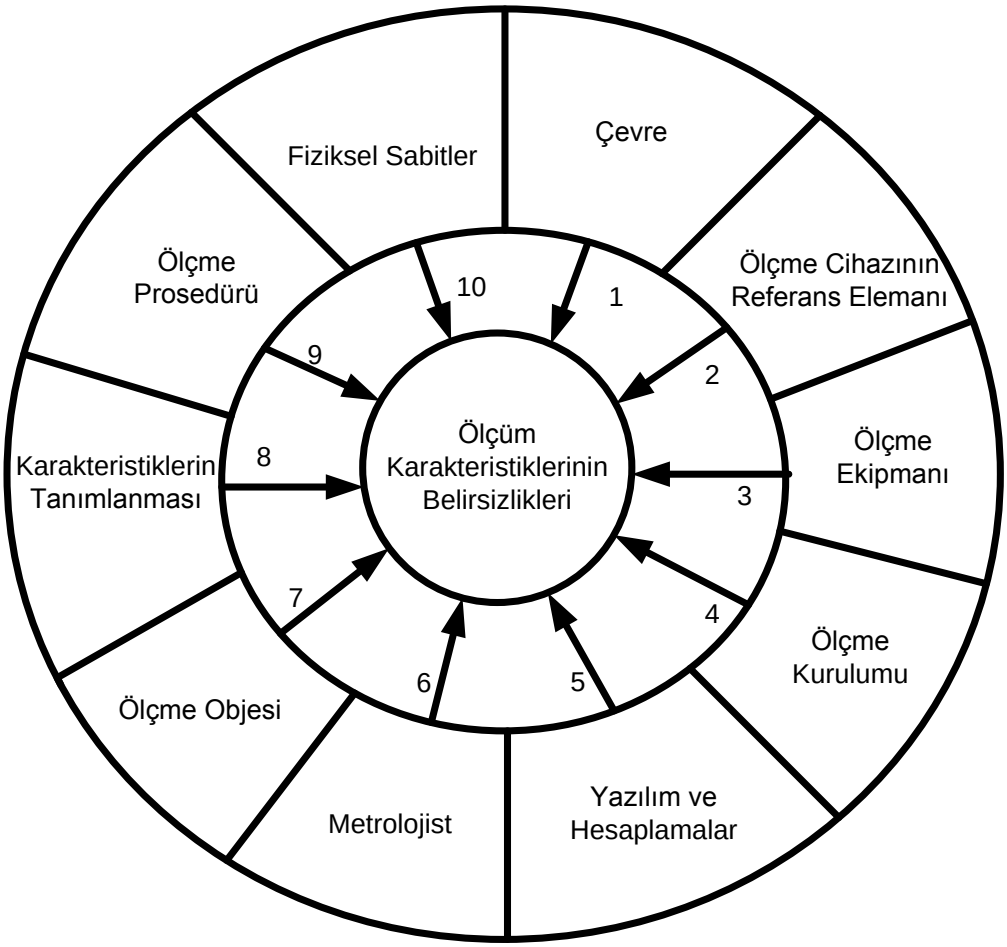
ER=MR-TV

Bu ifadede ER hata, MR ölçme sonucu ve TV gerçek değerdir. Rastlantısal ve sistematik hataları kontrol altında tutulamayan rastgele niceliklerin etkilerindendir. Rastlantısal hatalar standart sapmalar ve dağılım eğrileri ile tanımlanmaktadır.

Sürüklenme kontrol edilemeyen niceliklerin sistematik etkilerinden kaynaklanmaktadır.

Genelde bir zaman etkisi ya da aşınma etkisi söz konusudur. Sürüklenme ünitenin zamanla yenilenmesi veya kullanım miktarı değişimiyle karakterize edilebilmektedir [20].

Çizgi dışı hatalar ölçmedeki tekrarlanmayan olaylardan ortaya çıkmaktadır. Elektriksel veya mekanik gürültü sebebiyet verebilir. Bunlar için temel sebep yanlış okuma, yazma veya ekipman kullanımı vb. insan kaynaklı hata etkenleridir. Bunları daha gelişmiş olarak araştırmak mümkün değildir. Ölçme işlemindeki hata veya belirsizlikler birçok farklı kaynaktan ve hata etkenlerinden belirli veya belirsiz hataların bir karışımı olmaktadır bunlar her zaman aynı değildir.



Şekil 4.15 Ölçme İşleminin Belirsizlik Bileşenleri

Ama yine de sistematik bir yaklaşım yapmak halen mümkün olabilmektedir. Birkaç kaynak veya Şekil 4.15'te gösterilen on farklı olayın birleşik etkilerine ulaşabiliriz [20].Bu on etken için örnekler ve ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Her etken ölçüm sonucu üzerinde bir rol oynamaktadır. Ancak birçok uygulamada birbirleriyle etkileşime girerler ve bir bileşke hata ve belirsizliğe sebep olmaktadırlar. Her uygulamada hata ve belirsizlik bileşenlerinin değerlerinin saptanması için fiziksel bilgi ve metroloji deneyimi gereksinimi vardır. Belirsizlik raporlarında bileşenler ve belirsizlik etkenleri uygulamada kolaylık sağlaması için gruplanır [20].

Ölçüm için Çevre

Birçok uygulamada, özellikle GPS ölçümlerinde sıcaklık temel belirsizlik etkenidir. Diğer temel etkenler ise;

- Sıcaklık, mutlak sıcaklık, zaman değişimi, spatial gradyen
- Titreşim/gürültü
- Nem
- Kirlilik
- Hava basıncı
- Cihazın termal dengesi
- Işıklandırma
- Ortam basıncı
- Hava akımı
- Hava oluşumu
- Sıcaklık radyasyonu
- Ağırlık
- Elektromanyetik müdahale
- Güç kaynağı geçişleri
- İş parçası
- Skala

Ölçüm Ekipmanın Referans Elemanı

- Stabillik
- Skala çizgi kalitesi
- Isıl genleşme katsayısı
- Fiziksel özellikler(skala çizgisi, optik dijital skala, manyetik dijital skala, dişli-çubuk, mil. interperometre)
- Belirsizlik ve kalibrasyon
- Ana skalanın çözünürlüğü
- Son ölçümden bu yana zaman
- Dalga boyu hatası

Ölçüm Cihazı

- Okuma sistemi
- Elektriksel veya manyetiklik
- Dalga boyu hatası
- Sıfır noktası sabitliği
- Kuvvet stabilitesi/mukavemet
- Histeresis
- Referanslar
- Prob sistemi
- Geometrik eksiklikler
- Katılık/rijitlik
- Dijitalleştirme
- Isıl genleşme lineer katsayısı
- Sıcaklık sabitliği hassaslığı
- Paralakslar
- Son kalibrasyondan bu yana geçen zaman
- Karakteristik karşılık
- İnterpolasyon sistemi dalga boyu hatası
- İnterpolasyon çözünürlüğü

Ölçüm Ayarları

- Kosinüs-sinüs hataları
- Abbe Prensibi
- Sıcaklık hassasiyeti
- Katılık/rijitlik
- Uç çapı
- Ucun şekil sapması
- Optik açıklık
- İş parçası ve ayar arası etkileşim
- Isınma

Yazılım ve Hesaplamalar

- Yuvarlama
- Algoritmalar
- Algoritmanın uygulanışı
- Hesaplamalarda belirleyici rakamların sayısı
- Numuneleme
- Filtreleme
- Algoritmanın sertifikasyonu/düzeltilmesi
- İnterpolasyon/ekstrapolasyon
- Outlier Yöntemi

Metrolojist

- Eğitim
- Deneyim
- Öğretim
- Fiziksel avantaj-dezavantajlar
- Bilgi
- Dürüstlük
- Kendini adama

Ölçme cihazı veya iş parçası karakteristikleri

- Yüzey hassasiyetleri
- Şekil sapmaları
- E-modülü
- E modülü üzerinde katılık
- Isıl genleşme katsayısı
- İletkenlik
- Ağırlık
- Boyut
- Şekil
- Manyetiklik
- Yaşlanma
- Temizlik
- Sıcaklık
- İç gerilme
- Sürünme karakteristikleri
- Malzemenin higrometrik karakteristikleri
- Sıkıştırılmayla iş parçası distorsiyonu
- Çevre şartlarına uyma

GPS Karakteristikleri, İş parçası veya ölçme cihazı karakteristikleri tanımı

- Serbestlik derecesi
- Referans sistemi
- Tolerans özellikleri
- ISO 4288
- Referans
- Uzaklık
- Açı
- *Ölçme Prosedürü*
- Şartname
- Ölçüm sayısı
- Ölçüm düzeni
- Ölçüm sürekliliği
- Ölçüm prensibi seçimi
- Sıralama

- Referans seçimi
- Aparatların seçimi
- Metrolojist seçimi
- Fikstüre alma
- Noktaların sayısı
- Problama stratejisi ve prensipleri
- Operatör sayısı
- Strateji
- Sıkıştırma
- Prob sistemi sıralaması
- Sürüklenme Kontrolü
- Hata dağılımı

Fiziksel sabitler ve dönüşme faktörleri

Malzeme özelliklerinin (iş parçası, ölçme cihazı, ortam atmosferi vb.) doğru fiziksel değerlerinin bilinmesi.

4.8 Belirsizlik Bileşenlerinin, Standart Belirsizliğin ve Genişletilmiş Belirsizliğin Bulunmasında Kullanılan Yöntemler

Belirsizlik bileşenlerinin bulunması farklı iki yöntemle gerçekleştirilebilinir. Bunlar Tip-A ve Tip-B değerlendirme yöntemleridir.

Tip-A belirsizlik bileşeni hesaplaması hesaplanması u_{xx}, istatiksel bir yöntemi kullanarak gerçekleştirilir. Tip-B hesaplaması ise istatiksel olmayan diğer yöntemleri kapsamaktadır.

Tip-A değerlendirme birçok uygulamada yüksek tamlıkla belirsizlik bileşenlerini belirlemektedir. Tip-B değerlendirme ise Tip-A kadar olmasa da tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bu sebeple tekrarlama metodunda belirsizliklerin Tip-A değerlendirilmesi gerekli olmadığı hallerde Tip-B değerlendirme uygulanmaktadır. Bazı uygulamalarda Tip-A değerlendirme tek alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Belirsizlik Bileşenleri İçin Tip-A değerlendirme

Tip- A belirsizlik bileşenleri u_{xx} tekrarlanan ölçümlerinden veriye gereksinim duymaktadırlar.

Dağılımın standart sapması veya gerçek değerin standart sapması formüllerle hesaplanabilmektedir.

Bu istatistiksel yöntemler;

İstatiksel dağılım biçimini ayırt etmeksizin aşağıda ifade edilen istatiksel parametreler denklemlerden elde edilmiştir:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{1}^{n} x_i \qquad \text{n sayıda ölçümün ortalama değeri } \bar{x}\text{'dır.} \qquad (4.4)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{(n-1)}} \qquad \text{Numune dağılımının standart sapması } s_x \qquad (4.5)$$

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{n \times (n-1)}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad \text{Ortalama değerin standart sapması } s_{\bar{x}} \qquad (4.6)$$

Ölçme işlemi standart sapması az sayıda tekrarlı ölçümlerle belirlenmeye çalışıldığı takdirde sapmaya ya yanlış bir değeri ifade eder ya da çok küçük bir değer bulunur. Bu sebeple bir güvenlik kat sayısı kullanılır (h) .

$$u_{xx} = s_{x,n} \times h \qquad (4.7)$$

h, “ Student’s t” değerinden hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.1 %95 güvenlik katsayısıyla Student’s t değeri

Serbestlik Derecesi	
v	t
1	12,7
2	4,3
3	3,2
4	2,8
5	2,6
6	2,5

Çizelge 4.3 Ölçüm sayısına göre hesaplanmış olan güvelik kat sayısı, h

Ölçüm Sayısı, n	Güvenlik Katsayısı, n
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2
10≤	1

Birkaç ölçüm işlemi sonucunu kullanarak elde edilen ortalama s_x standart sapması belirsizlik bütçesindeki standart belirsizliğin hesaplanılmasında kullanılan değerdir.

$$u_{xx} = \quad s_{\bar{x},n} \times h \qquad \left(s_{\bar{x},n} = \frac{s_{x,n} \times h}{\sqrt{n}} \right) \tag{4.8}$$

Belirsizlik Bileşenleri İçin Tip-B Değerlendirme

Standart sapma değerinin istatistiksel olmayan yöntemlerle sıklıkla önceki deneyimlerle sınırlandırılması veya kabaca tahmin edilmesidir. Deneyim, standart sapma değerinin direkt olarak değerlendirilmesi veya anlaşılması değildir.

Deneyimle metrolojist hata limit değerlerinin değişme miktarı için önceki limit değerlerini anımsamakta veya fizik kurallarını kullanarak, mantık yürüterek bu değeri belirleyebilmektedir. Birçok uygulamada spesifikasyonlar sınır değer alarak

belirlenmektedirler. Bu sınır değerlerden standart sapmaya geçmek için sistematik metotlar

uygulanabilmektedir.

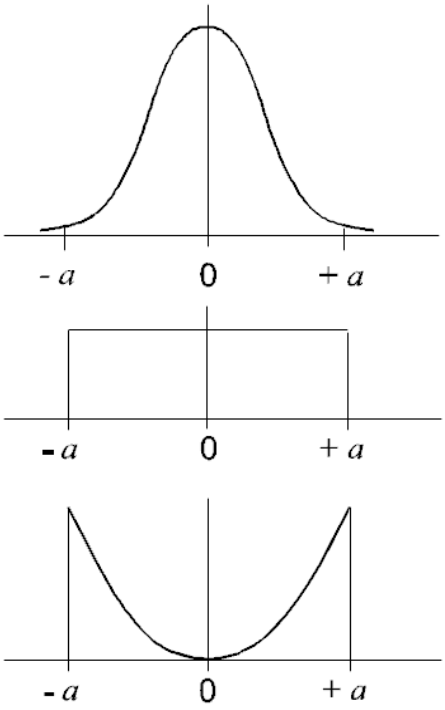
4.9 Hata Limitleri İçin Dönüşüm Gereçleri

Standart Belirsizlik Hesaplamasının Grafiksel İfadesi

Gerçekleştirilmiş olan deneyler ve şimdiye kadar bulunmuş olan bulgular göstermiştir ki birçok uygulamada standart sapma gösterimi için kullanılan grafiksel ifadelerde üç temel dağılım kullanılması yeterlidir. GUM rehberinde ise, farklı olarak dört temel dağılımdan söz edilmektedir. Şekil 3'deki grafikte alt ve üst sınırlar "a" ile verilmiştir. Sınır değer ve standart sapma arasında tüm dağılımlar için belirli bir oran vardır. Bu durumda limit değer "a" ise ve bilinmiyorsa, ancak dağılım biçimi belirlendiyse, standart sapmayı hesaplamak mümkündür. Sınır değeri "–a" veya "+a" olarak belirlenir.

$$u_{xx} = a \times b \tag{4.9}$$

Gauss dağılımında standart sapma değeri iki kez sınır değer olarak kullanılmaktadır. Üç dağılım tipi için b değerleri aşağıda belirtildiği gibidir.



Gauss dağılımı: b =0,5

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{2}} = 0{,}5 \times a \qquad (4.10)$$

Dikdörtgen dağılım: b = 0,6

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 0{,}58 \times a \approx 0{,}6 \times a \qquad (4.11)$$

U dağılımı : b =0,7

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{2}} \approx 0{,}71 \times a \approx 0{,}7 \times a \qquad (4.12)$$

Şekil 4.16 Normal dağılım, dikdörtgen dağılım ve U tipi dağılım (ISO 14253-2).

Tip-B belirsizlik değerlendirmesi mantıklı tahminlere veya limitler hakkında sağlam bilgiye gereksinim duymaktadır. Üst değerde bir tahmin yapılmalı ancak a sınırını belirlerken gereğinden yüksek bir değer alınmamalıdır. Sonraki uygulamada dağılım hakkında kabuller yapılmaktadır. Birçok uygulamada dağılım tipi bilinir veya tahmin edilebilir. Böyle olmadığı durumlarda kabuller yapılmaktadır. Gauss olmadığı biliniyorsa dikdörtgen veya U dağılımı seçilmektedir. Eğer bunlarda değilse en yakın dağılım U' dur. Mantıklı değerlendirmeler yapmak için baskın belirsizlik bileşenleri için istatistiksel metotları uygulamadan

deneyimlerle veya fizik kurallarına dayandırılan belirsizlik etkeni limitlerinin belirlenmesi ve bunların standart belirsizliğe dönüştürülmesi gerekmektedir.

Tip-A ve Tip-B Değerlendirmeleri İçin Tipik Örnekler

Aynı Belirsizlik Bileşeninin Değerlendirilmesi İçin Deneysel veya Limit Değer:

Tekrarlanan ölçümlerden alınan veriler A tipinde kullanılabileceği gibi B tipinde de kullanılabilmektedir. Aynı ölçüm verisi veri-ayar değeri civarında limit değerler kullanarak B tipi belirsizlik bileşeni değerlendirmesinde kullanılabilmektedir.

Tekrarlanabilirlik:

Belirsizlik raporlarının tümünde tekrarlanabilirlik terimi en az bir kez geçmektedir. Birçok uygulamada bu ancak deneysel olarak bulunabilmektedir (A tipi değerlendirme). $s_x, s_{\bar{x}}$ formulleri ile belirsizlik bileşeni ölçüm donanımından okumasının kararlılığından belirlenebilinir.

Tekrarlanabilirlik kaynaklı belirsizlik ölçme donanımı okuma kararlılığından sağlanan belirsizlikten daha az olabilmektedir. Bu durumda tekrarlanabilirlik yerine ikinci kullanılır.

Kararlılık ve Yuvarlama:

Ölçme cihazının çözünürlüğü veya ölçümün son ondalığı veya yuvarlanmış ölçüm değeri, hangisi en büyükse bir belirsizlik bileşeni oluşturmaktadır.

$$u_{xx} = \frac{d}{2 \times \sqrt{3}} \approx \frac{d}{2} \times 0{,}6 \approx 0{,}3 \times d \qquad (4.13)$$

Burada d çözünürlük veya son ondalık adımdır. Belirsizlik bileşeni, limit değer $a = 0.5 \times d$ 'siyle dikdörtgen dağılımın bileşenine eşittir. Tekrarlanabilirlik belirsizlik bileşeni deneysel veriden hesaplanırsa, çözünürlük etkisi eklenmiştir.

Ölçme Cihazlarının İzin Verilebilir Maksimum Hatası:

Bir ölçme ekipmanı veya ölçme standardı her bir metrolojik karakteristik için izin verilebilir maksimum hata değerlerine geçilebilecek şekilde biliniyorsa, bu hata değerleriyle bağlantılı belirsizlik bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılabilir.

$$u_{xx} = MPE \times b \tag{4.14}$$

Yukarıda verilen formülde dağılımdan b' yi elde ederiz. Kalibrasyon verisi alındığında bunları dağılım tipini bulmak için kullanmak olduğu gibi nadir uygulamalarda belirsizlik bileşeninin direkt olarak Tip-A değerlendirme ile hesaplanması mümkün olabilmektedir.

Düzeltmeler:

Hatalar, ER, büyüklükleri ve işaretleri bilindiği taktirde bir c düzeltme

katsayısıyla ölçüm sonucu denkleştirilebilmektedirler. Düzeltme yapılsa bile bir belirsizlik faktörü (düzeltmenin belirsizliği) mevcut olmaktadır. Bu belirsizlik bileşeni düzeltmenin ölçme belirsizliği üzerindeki etkisinin pozitif olması için hata düzeltmeden büyük olmamalıdır. Bilinen bir hatanın düzeltilmesi belirsizlik bütçesini hazırlayan metrolojistin sorumluluğudur. Hatanın düzeltilme kriteri ekonomidir.

$$c = -ER \text{ (7.10)} \tag{4.15}$$

Sürüklenme bilinen bir hata olarak kabul edilip düzeltilebilir.

Histerisis

Histerisis, h, ölçme donanımında simetrik hata/belirsizlik olarak alınabilmektedir.

Şayet yeterli veri varsa belirsizlik bileşeni Tip-A değerlendirme ile saptanmakta veya Tip-B değerlendirme için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$u_{xx} = \frac{h}{2} \times b \tag{4.16}$$

Buradaki b değeri Hata Limitleri İçin Dönüşüm Gereçleri bölümünde bahsedilen prensiplere ve dağılıma göre seçilmektedir.

Kalibrasyon Sertifikaları

Bu sertifikar ölçüm değerleri için metroloji özellikler ve ölçme işlemi ile bağlantılı belirsizlik değerlerini vermektedir. Burada verilen kalibre edilmiş değer kullanıldığı takdirde, belirsizlik bileşeni u_{xx} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Genişletilmiş belirsizlik olarak tanımlanan U, GUM'a göre belirlenmiş bir güvenlik katsayısı ile işleme sokulur.

$$u_{xx} = \frac{U}{k} \tag{4.17}$$

Bazı kalibrasyon firmaları a'yı k' nın varsayılan değeri olduğunu standardize etmiştir.

Bu şartlarda sertifikada güvenlik katsayısı değeri belirtilmez.

Belirsizlik U_V değeriyle gösterilir. Güvenilirlik sınırı %95 veya %99'dur.

$$u_{xx} = \frac{U_V}{m} \tag{4.18}$$

Yukarıdaki formülde bulanan m standart sapmalardaki güvenilirlik aralığının olması gereken değere ulaşması için kullanılan düzeltme sayısıdır.

Kalibrasyon sertifikaları bazen yalnızca belli bir ekipmanın tanımlanan özelliklerin verilen standartları veya üreticinin standartlarını karşılayıp karşılamadığını gösterir. Bu durumda nominal izin verilebilen hata-metrolojik karakteristikleri kullanılabilmekte ve belirsizlik bileşenleri buradan hesaplanabilmektedir.

Ölçme Objesinin Yüzey Özellikleri, Şekil ve Diğer Geometrik Sapmaları

Ölçüm objesinin yüzeyleri ölçüm süresince ölçme ekipmanı ile temas halindedir. Yüzey özellikleri, şekil sapmaları ve nominal geometriden gelen diğer sapmalar, ölçüm ekipmanının temas geometrisini etkileyecek ve belirsizlik bileşenleri oluşturacaktır.

Bu bileşenler deneyimlerle A tipi veya B tipi veya ikisinin kombine uygulamasıyla değerlendirilebilir.

Fiziksel Sabitlikler

Fiziksel sabitliklerle (ısıl genleşme katsayısı, elastiklik modülü, poisson sayısı vb.) baskın hata değerinin dönüşümü veya değerlendirilmiş ancak yüksek tamlıkla bilinmeyen belirsizliklerin tahmini yapılmaktadır.

4.10 Ölçüm belirsizliğinin Doğrudan ve Dolaylı Ölçme Modelleri ile Değerlendirilmesi

(Siyak kutu, Şeffaf kutu)

Aynı ölçüme işlemi için belirsizlik birçok farklı uygulamada için farklı model veya detaya göre değerlendirilebilinir. Bu yöntemler arasından en göze batanı doğrudan ve dolaylı kutu yöntemi olarak adlandırılanlardır.

Doğrudan ölçme modelinde (siyak kutu) toplam ölçme işlemi bilinmeyen bir içerik olarak modellenir. Belirsizlik raporu ve belirsizlik bileşenleri bunların ölçüm prosesindeki toplam etkisini ifade eder. Bu model belirsizlik modelinde belirsizlik bileşenleri ile her bir hata etkeni arasında fonksiyonel bir ilişki kurmak oldukça zordur.

Belirsizlik raporundan tamamen faydalanmak için modelin açılması ve daha detaylı bir belirsizlik bütçesinin hazırlanması gerekmektedir. Bu amaçla daha küçük modellemeler (siyah kutuların) veya ölçüm prosesinin tüm detayları dolaylı ölçme modeline göre hesaplanır. Doğrudan ölçme modeli düşük çözünürlüklü, dolaylı ölçme modeli yüksek çözünürlüklü bir metot olarak tanımlanabilmektedir.

Direkt ölçme (siyah kutu) modelinde belirsizliklerin değerlendirilmesinde girdi ve çıktı değerleri aynıdır, belirsizlik bileşenleri arttırıcı kabul edilir ve belirsizlik bileşenlerinin toplamının 0 olması beklenir. Direkt ölçme modelinin ve bu teknik rapordaki PUMA metodundaki amacı, tüm baskın değerlerin ölçüm üzerindeki etkilerinin indirgenmektir. Bu yüzden her bir belirsizlik bileşeninin hassaslık katsayısı 1'e eşittir.

Dolaylı ölçme modeli için belirsizlik değerlendirmesi, belirsizlik bileşenlerinin bu sınırlamaları geçerli değildir.

4.10.1 Direkt Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması-Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi, u_c

Direkt ölçme modelinde belirsizlik saptanmasının metodu ölçüm sonucunun sonuç olarak bilinen düzeltme ile düzeltilerek okunmasıdır:

$$Y = X + C \tag{4.19}$$

Buradaki x cihazından okunan değeri, C ise her bir sıcaklık, kalibrasyon, deformasyon

Düzeltmesi gibi etkenlerden gelen toplam düzeltme katsayısıdır.

Ölçmenin birleşik standart belirsizliği şu denklemle bulunur:

$$u_c = \sqrt{u_r{}^2 + \sum_1^p u_i{}^2} \tag{4.20}$$

p ilişkilendirilmiş belirsizlik etkenleri sayısı

buradaki u_r direkt olarak ilişkilendirilmiş (1 veya –1) belirsizlik etkenleri, aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$u_r = \sum_{1}^{r} u_i \tag{4.21}$$

Buradaki r direkt ilişkilendirilmiş belirsizlik etkeni sayısıdır.

Toplamda r ve p Y ölçümü için toplam belirsizlik etkenleridir. İlişkilendirilemeyen belirsizlik etkenleri geometrik olarak eklenirler.

Direkt ilgililer aritmetik olarak eklenirler. Ilımlı bir değerlendirme için tamamen

bağımsız olmadığı bilinen belirsizlik etkenleri direkt ilişkili kabul edilir.

Dolaylı Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması – Belirsizlik Bileşenlerinin

Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi, u_c

Dolaylı ölçme modeli (şeffaf kutu) ile belirsizlik saptanmasının metodu ölçüm değerinin birden fazla ölçüm değerinin fonksiyon ifadesiyle modellenmesidir.

$$Y = G(X_1, X_2, X_3, ..., X_i, ..., X_{p+r}) \tag{4.22}$$

Ölçmenin bileşik standart belirsizliği aşağıdaki denklemle çıkartılır:

$$u_c = \sqrt{{u_r}^2 + \sum_{i=1}^{p} \left(\frac{Y}{X_1} \times u_{xi} \right)^2} \tag{4.23}$$

Buradaki u_c ölçüm belirsizliğinin direkt bağlantılı etkenlerinin toplamı:

$$u_r = \sum_{i=1}^{r} \frac{Y}{X_i} \times u_{xi} \tag{4.24}$$

$\frac{\partial Y}{\partial X_i}$ Buradaki ifade X_i'ye göre Y'nin kısmi diferansiyel katsayısı fonksiyonudur.

u_{xi} i sayısındaki (fonksiyon) ölçüm değerinin birleşik ölçme standart belirsizliğidir. Bu Y'nin ölçümü için dolaylı ölçme modeli, belirsizlik tahmini metodunun bir parçasıdır.

u_{xi} bir direkt ölçme modelinin veya başka bir dolaylı ölçme modelinin sonucu olabilir.

Ölçme belirsizliğini bağımsız bileşenleri geometrik olarak, direkt ilişkili bileşenler aritmetik olarak eklenir.

Ilımlı bir değerlendirme için tamamen bağımsız oldukları bilinmeyen tüm bileşenler direkt ilişkili alınırlar.

Belirsizliğin bağımsız bileşenlerinin sayısı p'dir.

Dolaylı ölçme modeline göre toplamda Y' nin ölçme belirsizliğinin hesaplanmasında p+r adet birleşen bulunur, bunlardan her biri belirsizlik bileşenleri sayısının kombinasyonu olabilir.

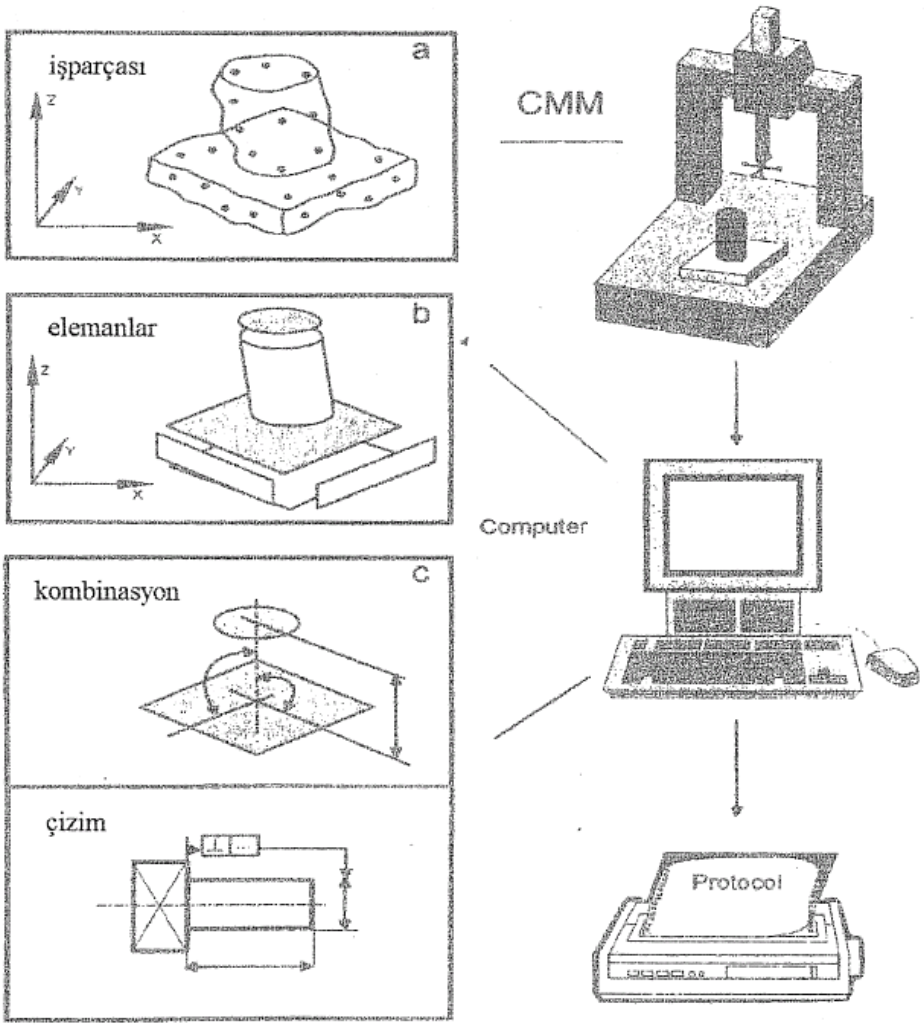
BÖLÜM 5

KOORDINAT EKSENLI ÖLÇÜM CIHAZI

Koordinat eksenli ölçümün temel amacı ölçümü yapılacak olan parçanın gerçek şeklini koordinat ekseninde tanımlamak ve tasarlanan şekliyle karşılaştırmak belirlenen koordinat noktalarını değerlendirmek biçim, boyut, konum ve yön gibi toleransları belirlemektir.

Ölçümü yapılan şeklin boyutu probun ölçme noktaları üzerinde farklı noktalara teması ile elde edilir. Bu noktalar bir veya birden fazla olabilir. Her bir temas noktası ölçülmüş koordinatlara dayanarak uzay sisteminde konumlandırılmış olur. Ancak ölçümü yapılan şeklin parametreleri (çap, uzunluk, açı) farklı işlemler yapılarak belirlenir, direkt olarak belirlenemez. Bu tür elemanlar uygun geometrik bir elemana benzetilerek belirlenebilir. Şekil 5.17'de iş parça geometrisinin basite indirgenerek modelize edildiğini göstermektedir. Koordinat metrolojisinin özü Ni ve Waeldele' ye (1998) göre şu şekillerde tanımlanmaktadır;

- CMM ile gerçek iş parçası üzerinde noktadan noktaya ölçümlerle data setleri yaratmak (Şekil 5.17a)
- Boyut, biçim, konum ve istikamet olarak verilen parametrelere dayanarak uygun ideal geometrik elemanın hesaplanması (Şekil 5.17b)
- İhtiyaç duyulan iş parçası şekillerini tayin etmek. Örneğin; ideal elemanları birleştirerek ve çizim boyutları ile toleransları kıyaslayarak (Şekil 5.17c)



Şekil 5.17 Koordinat Metrolojisinin Doğası [31]

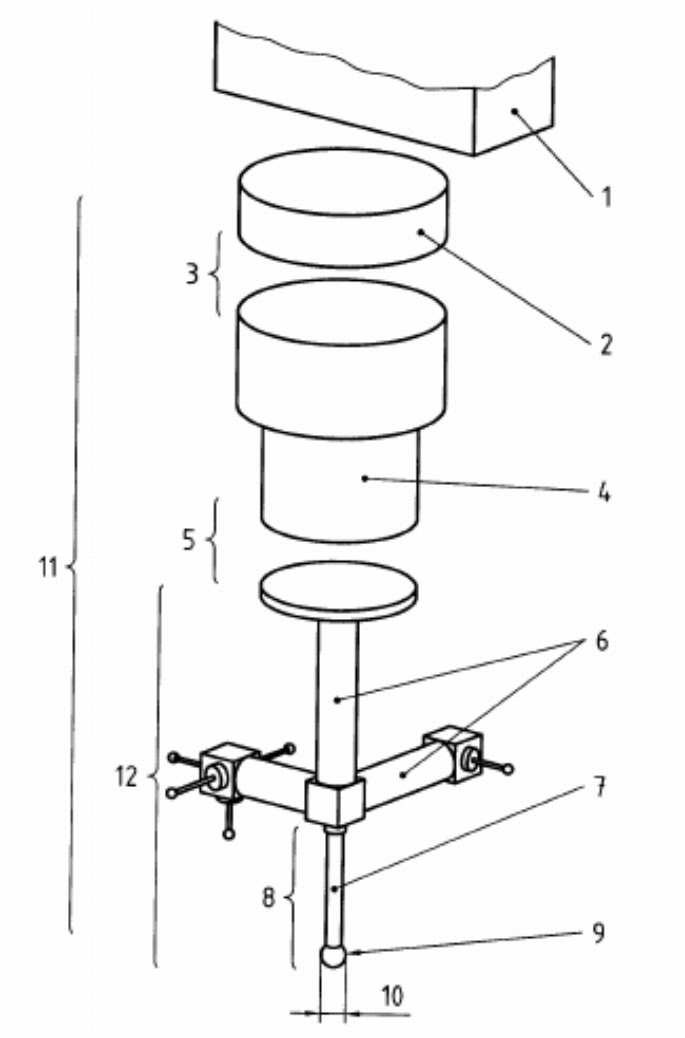
5.1 Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı

Koordinat eksenli ölçüm cihazları pratikliği, hızı, geniş geometrik ölçüm kabiliyeti gibi birçok özelliği sayesinde en güçlü metrolojik cihazlardan birisidir. CMM ile ölçüm genişliği o kadar geniştir ki boyutları ölçülemeyecek hemen hemen hiç bir iş parçası yoktur. Kullanılmaya bağlandığı ilk günden beri ölçüm hacmindeki esnekli ve ölçüm doğruluğu gün geçtikçe artmaktadır. CMM'ler üç boyutlu bir istikamette fiziksel sunum veren Kartezyen koordinat sistemlerinin yerine kullanılmaktadır. Ölçüm yapan cihazların CMM' de olduğu gibi aynı koordinat ölçme sonuçlarını veren ancak bir tek yönde hareket eden eksenleri olmayan türleri de vardır.

Ölçme işlemi tam olarak problu ölçüm kolu üzerinde elmas sertliğindeki kürenin parçanın yüzeyine, koordinatları belirlenmesi istenen noktaya değdiği anda, kolun üzerindeki koordinat belirleyici sistemi ile, parçanın o noktadaki konumu, iş parçasının geometrik ve boyutsal verileri üç boyutlu uzayda (x, y, z) elde edilmekte ve cihazın üzerinde bulunan bilgisayara aktarılır. Problu sistemin dezavantajı, ölçüm alınabilmesi için probun yüzeye değme zorunluluğunun olmasıdır. Bu zorunluluk parçanın karmaşık şekilli olması durumunda, istenen değerlerin alınamaması sonucunu doğurabilir [21].

Prop sistemi

Prop uzatma, prop değiştirme sistemi ile birlikte prop (Madde 3.1) ve iğne uzatma, iğne değiştirme sistemi ile birlikte iğneden (Madde 4.1) meydana gelen sistemdir



Şekil 5.18 Probun Yapısı (ISO 10360)

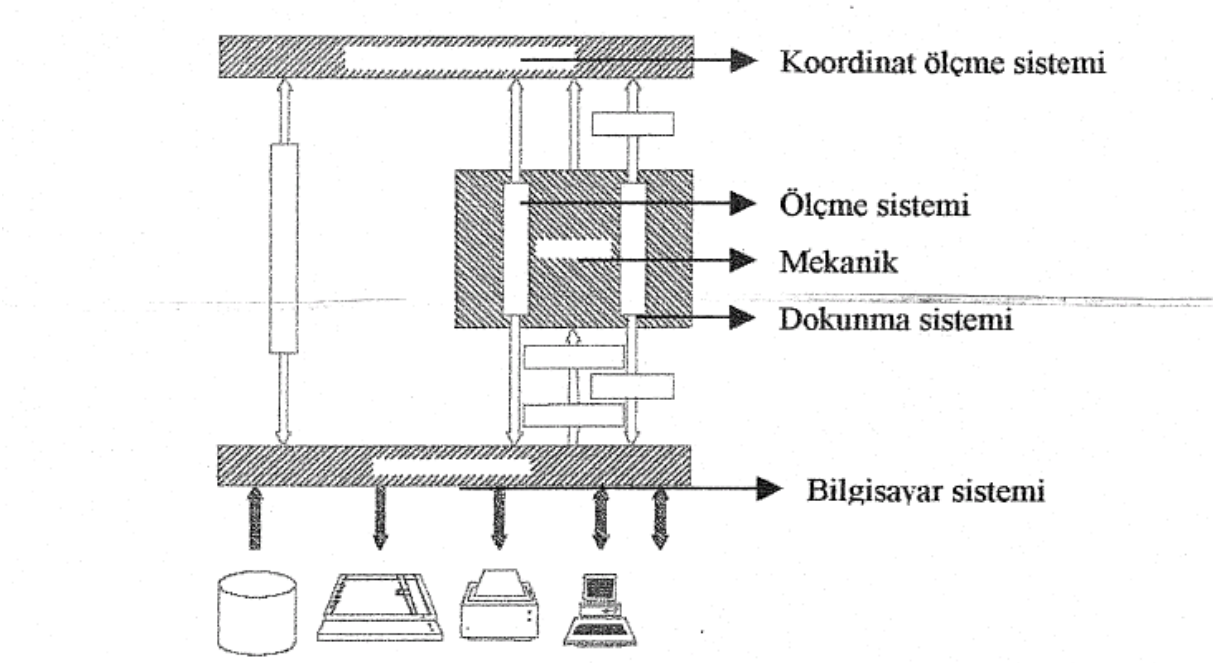
Açıklama :

1. Mesnet
2. Prob uzatma
3. Prob değiştirme sistemi
4. Prob
5. İğne değiştirme sistemi
6. İğne uzatma
7. İğne mili
8. İğne
9. İğne ucu
10. Uç çapı
11. Proplu ölçme sistemi
12. İğne sistemi (iğne sistem elemanlarından meydana gelen)

Şekil 5.18 Gördüğümüz prob sisteminin mafsallı türü de mevcuttur. Bu tür sistemde mesnet ve prob uzatma arasında mafsal mevcuttur. Bu sistem sayesinde elle veya motorlu konumlandırma cihazı yardımıyla, çeşitli uzaysal radyal konumlarda ölçme işlemi gerçekleştirilebilinir.

Bir Koordinat ölçme cihazı, Şekil 5.18'de de ifade edildiği bir şu kısımlardan oluşur;

- Mekanik
- Hareket
- Kontrol
- Ölçme sistemi
- Dokunma sistemi
- Bilgisayar



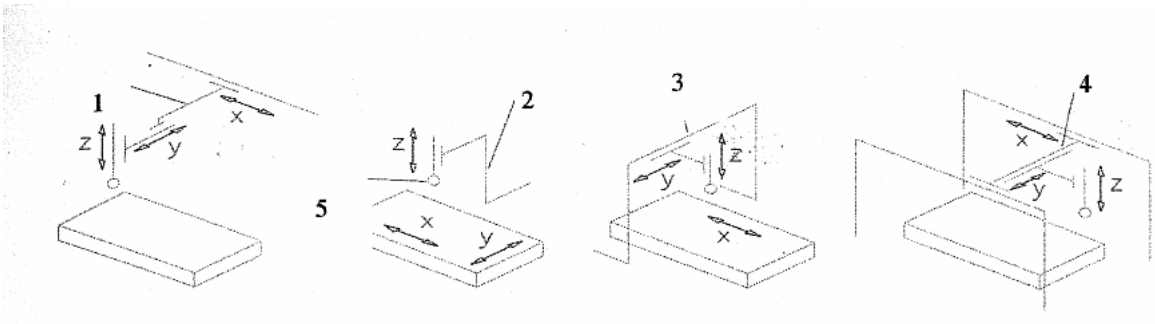
Şekil 5.19 Koordinat Ölçme Cihazı Sistemi Kısımları [22]

5.2 Koordinat Ölçme Cihazı Türleri

5.2.1 Kartezyen Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazları

Koordinat ölçme cihazlarının konstrüktif yapıları, birbirlerine dik üç koordinat istikametinde x, y ve z gerçekleştirilen hareketlerin ne şekilde olacağına bağlı olarak farklılıklar gösterir.

Üretim tekniğinde de olduğu gibi mümkün olan ve tezgahı meydana getirilen kısımlar Şekil 5.20 de gösterilmektedir [23].



Şekil 5.20 Kartezyen sistemde hareket yönelimleri

KÖM'ler günümüz imalat sanayisinde kullanılan gelişmiş teknoloji ürünleridir. Ölçümleri son derece hassas gerçekleştirebilmelerinin yanı sıra otomasyon uygulamaları için önemli çözümler sunmaktadırlar. Programlanabilme ve gerektiğinde bu programın hızla değişimine izin vermesi de KÖM'leri avantajlı kılan özelliklerden birisidir. Aynı zamanda bilgisayar destekli yapılan işlemlerle, otomasyon aracılığıyla kontrol ve ölçüm hızları artmakta bu sayede kısa zamanda daha hızlı ve daha doğru sonuçlar alınabilmektedir. Zamanı kısaltması nedeniyle söz konusu ölçüm zamanı içerisinde daha çok parça kontrolü yapılabilmekte ve bu sayede verim artışı sağlanmaktadır. KÖM'ler vasıtasıyla en küçük boyutlarda imal edilmiş parçalar ölçülebilmektedir. Örneğin nano boyutlardaki parçaların ölçümü de gelişmekte olan nano-KÖM'ler vasıtasıyla hassas olarak gerçekleştirilebilmektedir. Çizelge 4.4'de konvansiyonel bir KÖM ile nano-KÖM'in karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.4 Konvansiyonel KÖM ile Nano-KÖM'in çeşitli özelliklerine göre karşılaştırılması(Takamasu vd., 1996)

	Konvansiyonel KÖM	Nano KÖM
Makine Hacmi	~2000 mm3	~200 mm3
Ölçüm Mesafesi	1 dm3	10 mm3
Çözünürlük	0.1 mikro metre	0.25 nm
Hassasiyet	1 mikro metre	50 nm
Prob Çapı	5 mm	50 mikro metre
Ölçme Kuvveti	10^-1 N	10^-3 N
Hassasiyet Ölçeği	1 mikro metre	10 nm

Koordinat ölçme cihazı aşağıdaki kısımlardan oluşur:

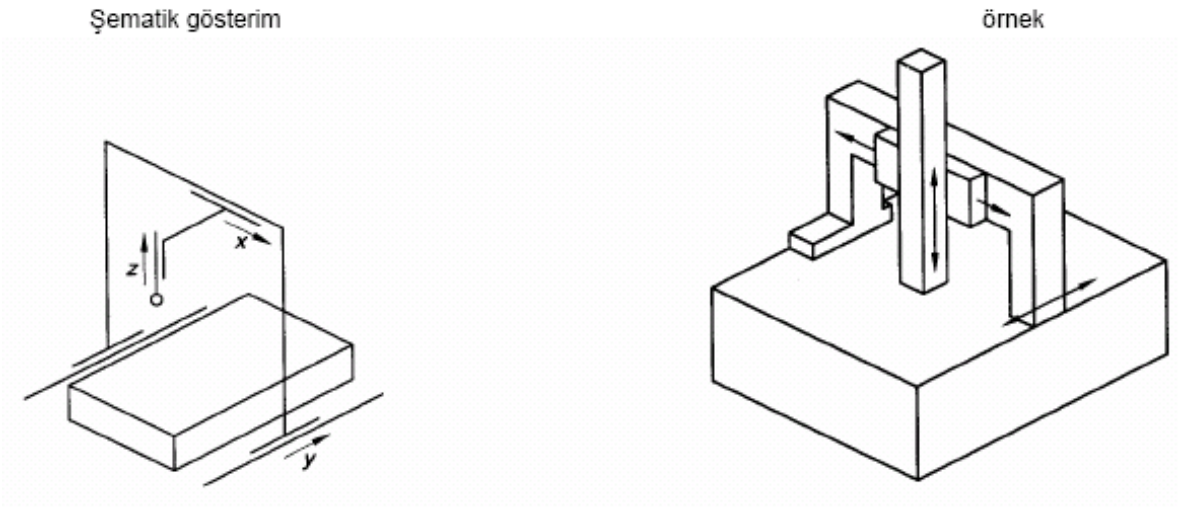
- Mekanik sistem
- Hareket sistemi
- Kontrol sistemi
- Ölçme sistemi
- Dokunma sistemi
- Bilgisayar sistemi

Koordinat ölçme cihazları makine tipi ve operasyon tarzına göre sınıflandırılmaktadırlar. Yatay ve dikey olmak üzere iki ana makine tipi vardır. Bunun dışında bazı farklı tipte KÖM'ler mevcut olmasına rağmen esas olarak bu iki sistemin bazı bölümlerinin farklılaştırılması sonucu değişik adlandırmalarla tanımlananları da vardır.

Koordinat eksenli ölçüm cihazlarının gösterimleri ölçmenin gereklilikleri olan doğruluk, esneklik, zaman ve para gibi ihtiyaçların karşılanmasında oldukça önemlidir.

Hareketli Köprü Sistemi

Bu CMM çeşidi endüstrüyel alanda en çok kullanılan çeşittir. Hareketli köprüyü ve ölçümü yapılacak olan parçayı taşına sabit bir masa vardır. Birbirine dik kılavuzlar boyunca hareket eden, üç bileşenli bir KÖM olup, prop sistemi ilk bileşene tutturulur ve birinci bileşen ikincisi üzerinde taşınır ve ikinci bileşene göre düşey doğrultuda hareket eder. Birinci ve ikinci bileşenler birlikte, üçüncü bileşene göre yatay düzlemde hareket eder. Üçüncü bileşen, makinanın karşı kenarları üzerinde alçalan iki ayak üzerine desteklenmiş olup, iş parçasının yerleştirildiği makina tabanına göre yatay düzlemde hareket eder [24].



Şematik Örnek

Şekil 5.21 Hareketli Köprülü KÖM

Bu dizayn şeklinde yürüme olarak adlandırılan hatanın oluşması muhtemeldir. İki ayak farklı bölmelerde hareket ediyor ki buda köprünün dönmesine sebebiyet verir. Bu etki masanın farklı notalarında gerçekleştirilen ölçümün doğruluğunu etkiler. Bu yürümeyi engellemek azaltmak için her iki ayak kısmı için çift taraflı sürücü ve iki ayak için veya merkezden geçen çizgi için pozisyon geri besleme kontrol sistemi kurulmuştur. Dirsekli (Centilever) tipe göre ikincil eksen eğilme etkisi bu yöntemde çok daha iyidir. Sebebi ise bu yöntemde iki taraftan destek kolonları bulundurmasıdır.

Şekil 5.22 Hareketli Köprü Tipi KEÖC [29]

Yüzük köprü sistemi ise iki eksendeki hareketi sağlamak amacıyla masayı çevreleyen bir yüzük kullanmaktadır. Bu yüzük sayesinde yapısal kararlılık sağlanır, biçim bozulmazlık gerçekleştirilir. Yüzük köprülü koordinat eksenli ölçme cihazlarında ağırlık merkezi hareketli elemanlara daha yakındır. Ayrıca bu tip CMM'lerde ölçümü yapılan cismin kütlesinden etkilenme söz konusu değildir. Çünkü ölçümü yapan kısım yapısal kısımdan tamamen izoledir.

Sabit Köprü Sistemi

Bu gösterimde köprü masaya sabitlenmiştir. İş parçasının tabla üzerinde tek eksen hareketi söz konusudur. Bu dizayn şekli yürümeyi engeller ve yüksek yapısal kararlılık sağlar. Diğer bir yandan ağır tablayı hareket ettirmek gerektiği için işlem hızı oldukça düşüktür. Bu bilgi çıkışını oldukça yavaşlatırken tabla ölçümü yapılacak parçanın ağırlığı konusunda sınırlama getirir.

Şekil 5.23 Cantilever (Dirsekli) Sistemi [29]

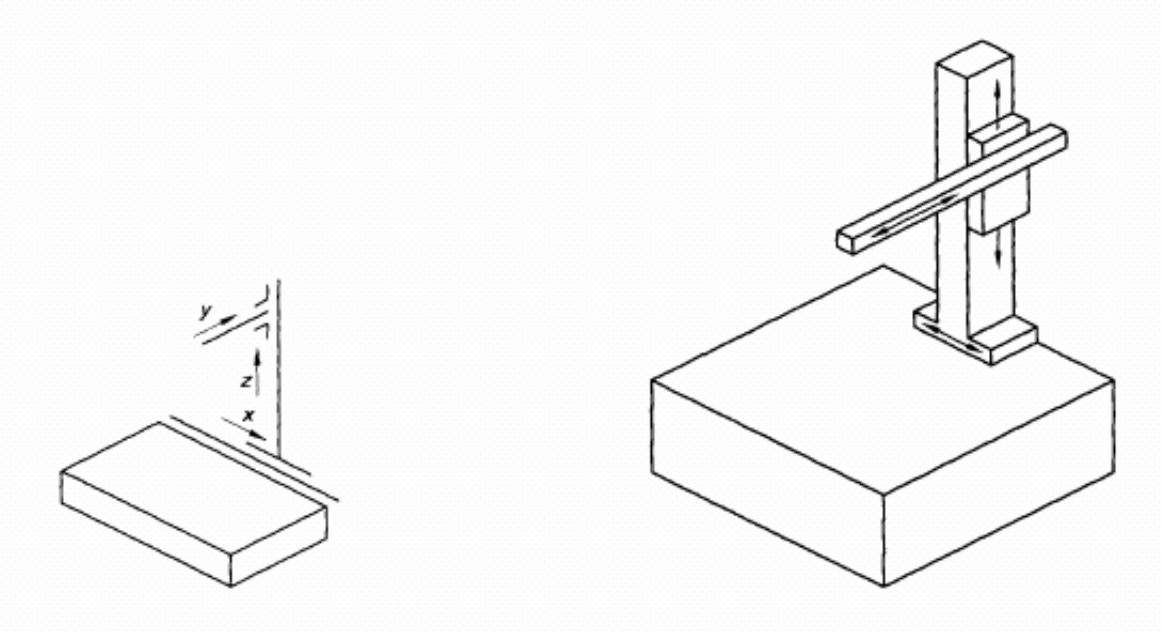
Bu tip dizaynda hareketli bir dirsek vardır. Bu dirseği destekleyen bir hareket mekanizması vardır. Bu mekanizma sayesinde prob ucu dikey hareketi gerçekleştirir. Ölçümü yapılacak parça ise masa üzerine sabitlenmiştir.

Bu dizayn da üç taraf da açıktır. Bu sayede iş parçası üzerinde daha farklı noktalardan ölçüm almak söz konusudur. Bu sistemin dezavantajı eğilme etkisidir. Özellikle prob ucunu en uç kısma ulaşması gereken ölçümlerde bu problem oldukça önemli boyutlarda oluşmaktadır. Bu makinanın boyutunu sınırlandırmaktadır. Bu sorun genellikle kullanılan bilgisayar yazılımındaki hata düzeltme tekniğiyle giderilmeye çalışılmaktadır.

Yatay Kollu Sistem

Bir diğerine dik kılavuz hatlar boyunca hareket eden üç bileşenli bir KÖM olup, prop sistemi birinci bileşene takılmıştır. Birinci bileşen ikincisi üzerinde taşınır ve ikinci bileşene göre yatay düzlemde hareket eder. Birinci ve ikinci bileşenler birlikte, üçüncü bileşene göre düşey doğrultuda hareket ederler. İş parçasının yerleştirildiği

üçüncü bileşen, makine tabanına göre hareket eder[24].



Şematik Gösterim Örnek Gösterim

Şekil 5.24 Hareketli Mesnetli, Yatay kollu KEÖC

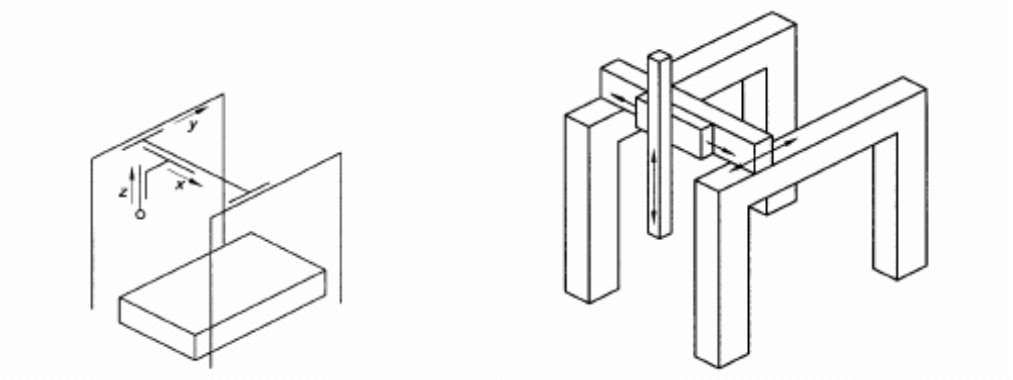
Yatay kollu sistemler araba parçalarının ölçümü için oldukça idealdir. Bu sistemin de kendi içerisinde çeşitleri vardır. Hareketli tabla sistemi, hareketli ramli ve çift kollu gibi farklı çeşitleri mevcuttur. Bunlardan hareketli tablalı yatay kollu CMM'de tabla yatay eksenden birinde hareketi sağlarken kiriş diğer yatay hareketi sağlıyor. Diğer tüm CMM'lerde olduğu gibi bu yöntemde de işlem hızı ölçülen iş parçasının büyüklüğüne bağlıdır.

Şekil 5.25 Hareketli Mesnetli, Yatay kollu KEÖC [30]

Bu tip cihazın en büyük avantajı farklı noktalara ulaşım rahatlığıdır. Ayrıca yüksek işlem hızı bu sistemin avantajlı kısmıdır. Dezavantaj ise doğruluğun düşük olmasıdır. Bu dezavantaj sisteme karşılayıcı yükler eklenerek aşılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca yazılım düzeltmeleriyle işlem doğruluğu sağlanmaya çalışılmaktadır.

Kızaklı- Gezer Köprülü KEÖC Sistemi

Birbirine dik kılavuzlar boyunca hareket eden üç bileşenli bir KÖM olup, prop sistemi ilk bileşene tutturulmuş ve birinci bileşen ikincisi üzerinde taşınır ve ikinci bileşene göre düşey doğrultuda hareket eder. Birinci ve ikinci bileşenler birlikte üçüncü bileşene göre yatay düzlemde hareket eder. Üçüncü bileşen, iş parçasının desteklendiği makina tabanı üzerinde her iki kenarda yükselen iki kılavuz ray üzerinde, yatay düzlemde hareket eder.



Şematik Gösterim Örnek Gösterim

Şekil 5.26 Kızaklı- Gezer Köprülü KEÖC

Kızaklı sistem çok büyük parçaların ölçülmesini sağlanan bir yöntemdir. Sistem sehimleri engellemek amacıyla masif bir yapıda tasarlanmıştır. Ayrıca bu tasarım ağırlık sebebiyle oluşan hataları da engellemiş olmaktadır. Ayakların hareketinde farklılaşmaları engellemek için çift sürücülü sistemler çoğunluklar tercih edilmektedir. Kurulum ve ısısal hataları engellemek için ise çoğunlukla yazılımsal düzeltme kullanılmaktadır.

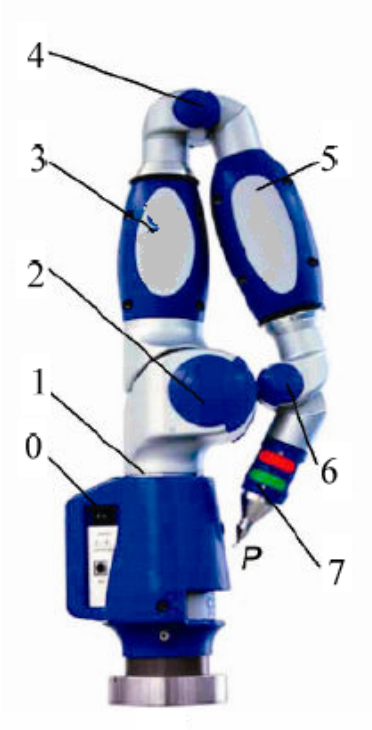
Şekil 5.27 Kızaklı- Gezer Köprülü KEÖC [32]

5.2.2 Kartezyen Olmayan Koordinat Ölçüm Aletleri

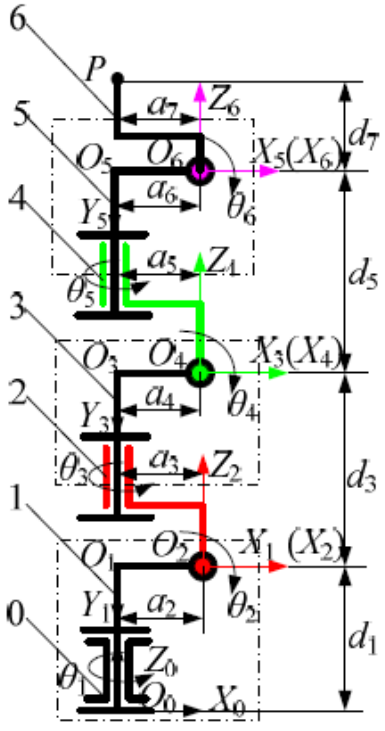
Koordinat ölçüm cihazları genellikle doğrusal eksende çalışır ve kartezyen koordinat sisteminde üç boyutlu fiziksel büyüklükleri ifade etmektedir. Ancak yine koordinat sonuçlarını sağlayan fakat doğrusal hareket eksenlerinde çalışamayan türleri de mevcuttur.

Oynar Kol Sistemleri (Articulating Arm Systems)

Oynar kollu CMM sistemleri Non-Cartesian sistemlerin yeni bir türüdür. Kullanım kolaylığı avantajının yanında sistemden, birleşim yerlerinden kaynaklanan hatalar oldukça fazladır. Oynar kollu ölçüm cihazları karşı dengeli altı serbestlik dereceli bir sistemdir. Her bir altı noktada hassas pozisyon sağlayan çeviriciler mevcut (precision rotart transducers).



Şekil 5.28 Oynar kol sistemli CMM



Şekil 5.29 Altı serbestlik derecesi gösterimi

Prob pozisyonlandırılması manuel olarak gerçekleştirilebiliniyor. Ölçme kapasitesi ölçme kollarının maksimum ulaşabileceği uzaklık ile sınırlıdır. Bununla birlikte ölçme kolunun yapısından veya prob ağzından kaynaklanan ölçme kapasitesi sınırlandırmaları

da söz konusu olabilir. Bu yöntemin doğruluğu Kartezyen CMM'ler ile kıyaslanamaz. Bu tip CMM'lerde kullanıcıdan kaynaklanan, ölçüm pozisyonlarında kaynaklanan hatalar mevcuttur. Yaklaşık olarak 2 iki metrelik bir ölçüm aralığı için sistem tekrarlanırlığı 0.1- 0.6 (2σ) arasında değişmektedir. Bu cihaz tipi sahada da kullanılabilmek için taşınabilir tipte üretilmiştir.

BÖLÜM 6

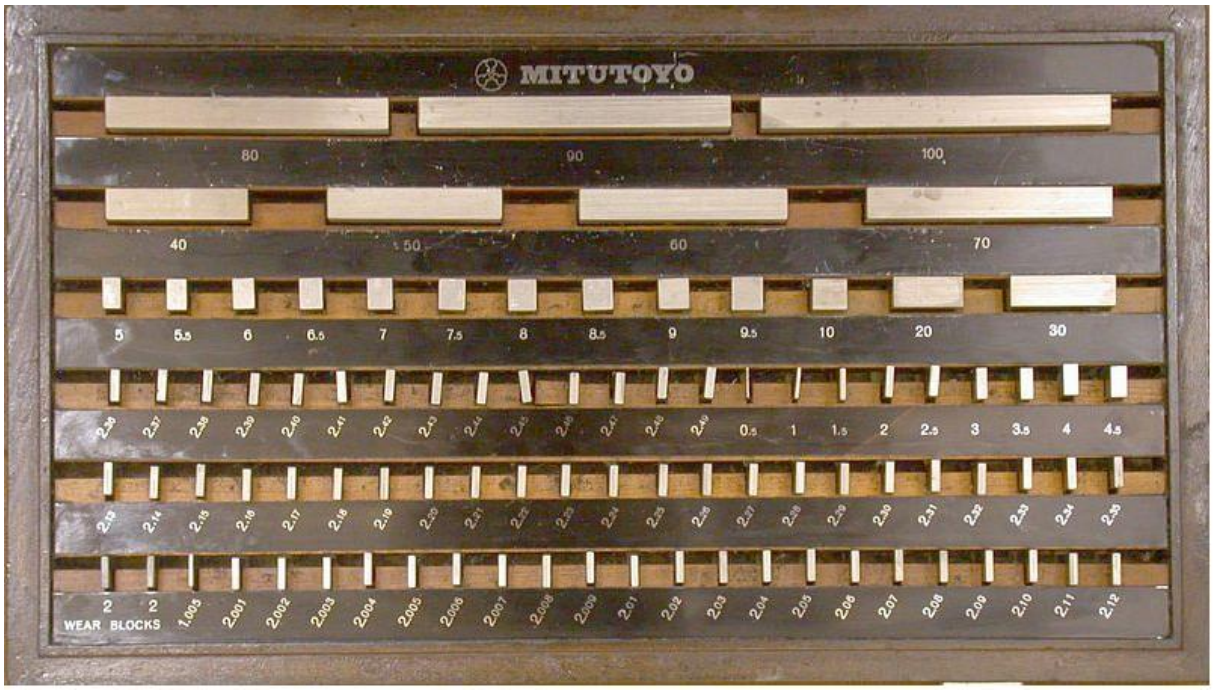
KOORDINAT EKSENLI ÖLÇÜM CIHAZLARININ KALIBRASYONUNDA KULLANILAN EKIPMANLAR

Kalibrasyon işlemi sırasında bir çok farklı gereç kullanılabilinir. Bun önceden kalibre edilmiş boyutu ve hata değeri sertifikalarında belirtilmiş gereçler veya Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazından daha hassas ölçüm yaptığı kabul edilen cihazlarlar olabilir. Bu gereçlere örnek vermemiz gerekirse; Mastarlar, Mastar blokları söyleyebiliriz. Cihazlara bir çok farklı lazer sistemini örnek olarak gösterebiliriz.

6.1 Mastarlar

Mastarlar tek başlarına veya birleşik olarak kullanılabilinen gereklerdir. Hassas üretim yöntemleriyle imal edilmiş olup 1896 yılında Carl E. Johansson tarafından mikro metreler, sinus çubukları gibi cihazların kalibrasyonunda referans olarak kullanılmasıyla keşfedilmiştir. Kendi isminitaşına mastarlar da günümüz de yaygın olarak kullanılan türlerdir.

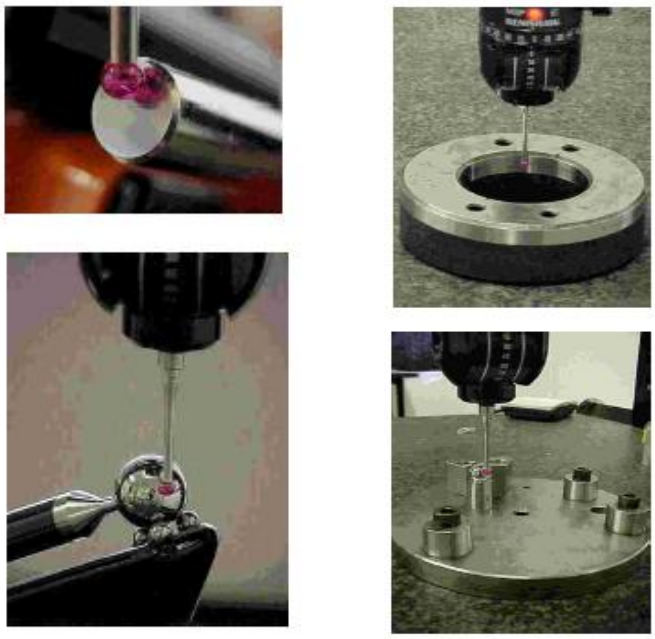
Günümüzde bu mastar bloklar kullanılmaya devam edilmektedir (Şekil4.28).



Şekil 6.30 Mastar blok set [35]

Koordinat Eksenli Cihaz kalibrasyonunda kullanılan mastar ve mastar blokları farklı geometrik ve konum büyüklüklerini ölçmek amacında olması sebebiyle farklı geometrik şekillere sahiptir.

Kullanılan mastarların büyük çoğunluğu karpit kullanılarak 1500 Vickers sertliğinde malzemelerdir. Bunun dışında çelik, granit, alüminyum gibi farklı malzemeler tercih edilmektedir.



Şekil 6.31 Kullanılan farklı mastarlar

Kullanıldığı kalibrasyon alanına göre mastarların şekilleri ve boyut toleransları farklılık göstermektedir. Örneğin üç boyutlu bir kalibrasyon işlemi için küre şeklinde mastar veya küre şekillere sahip mastar bloklar, tabla şeklinde mastarlar çeşitler mevcuttur (Şekil 4.29).

Mastarlar birden fazla operasyon için kullanılabilir. Bunlar referans işlemi için, kalibrasyon işlemi için denetim için veya çalışma alanı için gibi çeşitlerdir. Bunların tolerans aralıkları birbiri arasında farklılık göstermektedir.

- Referans (AAA): küçük toleranslardır. (±0.05 µm or ±0.000002 in) Standartları oluşturmak amacıyla kullanılır
- Kalibrasyon (AA): (tolerans +0.10 µm to −0.05 µm) denetleme blok veya yüksek hassasiyette mastarlar olarak kullanılır.
- Denetleme (A): (tolerans +0.15 µm to −0.05 µm)diğer mastar gereçlerini ayarlamak amacıyla kullanılırlar
- Atelye (B): Büyük toleranslar (tolerans +0.25 µm to −0.15 µm) hassas ölçüm için satış standartları olarak kullanılır.

Burada parantez içinde ifade edilen A, AA gibi ifadeler kullanılan standartlar tarafından ifade edilen hassasiyet derecesini ifade etmektedir.

Örmeğin (U.S. Federal Specification GGG-G-15C):

- 0.5 μm — genel olarak AAA eşittir
- 1 μm — genel olarak AA eşittir
- 2 μm — genel olarak A+ eşittir
- 3 μm —A ve B arasında bir değerdir.

ANSI/ASME B89.1.9M için

- 00 — değeri genel olarak 1 değerine (en fazla düzlemsellik ve doğruluk değerine ihtiyaç duyulduğunda kullanılır) eşittir.
- AS-1 — değeri genel olarak 3 değerine eşittir
- AS-2 — genel olarak 3 değerinden daha az kesinlik taşıyan ifadeye
- K — AS-1 değerinde doğruluğuyla genel olarak 00 düzlemsellik (paralellik) değerine eşittir.

6.2 Lazer İnterferometre

İnsanlar boyutsal metroloji kullanılmaya başlandığı yıllardan beri ölçüm işlemi için ışığı kullanmıştır. Buna en eski örneklerden biri 'Jacop Bar' olarak da bilinen navigasyon sisteminde kullanılmış olan optik yataklama sistemidir.

Şekil 6.32 Yüzyılda Jacob Bar yöntemiyle mesafe ölçümü

Yöntem kesişme teorisine dayanıyor; bir cismin uzaklığını mesafesini bildiğiniz başka bir uzaklık ile kıyaslayarak bulabiliyorsunuz.

Optik ölçüm alanında önemli bir diğer aşama ise 1660 yılında mikroskobun bulunmasıdır (Leeuwenhoek). Sonraki gelişme ise Michelson İnterferometre'sinin bulunması şeklinde oldu.

Mesafe değişim ölçümleri için sıklıkla çevre şartlarından da fazla etkilenmeyen ve yüksek doğruluğa sahip olan optik uygulamalar kullanılmaktadır. Genelde hata analizlerinde, hassas eksenlerde, koordinat eksenli ölçüm cihazlarının kalibrasyonunda ve çok yüksek hassasiyetli hassas makinelerde kullanılırlar.

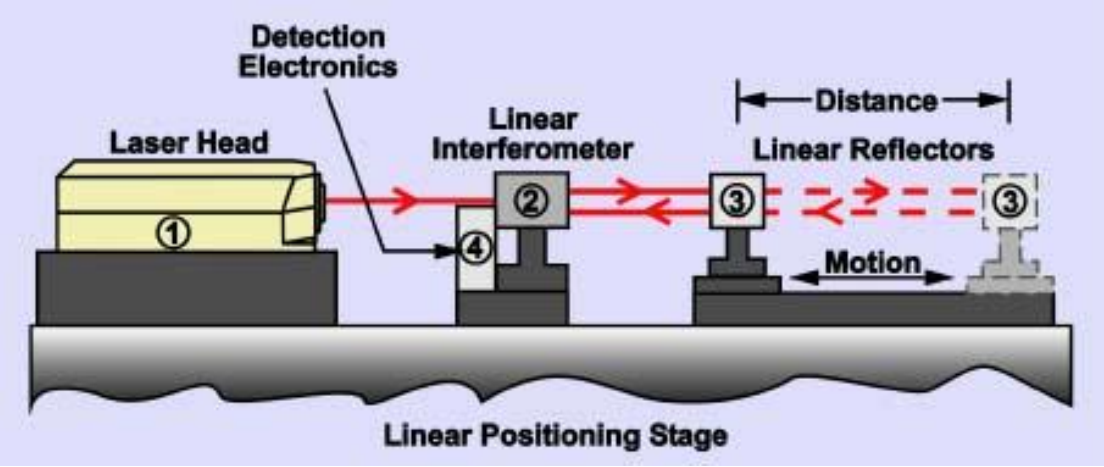
Lazer İnterferometre sistemleri doğrusal ölçümde sahip oldukları yüksek hassasiyet sebebiyle KÖM 'lerin kalibrasyonu işleminde yüksek hassasiyette sonuçlar elde etmemizi sağlamaktadır.

Çizelge 6.5 Lazer interferometre ile ölçüm hassasiyeti [34]

Ölçülen Büyüklük	Aralık	Çözünürlük	Doğruluk
Mesafe	0-30 m (100 m özel versiyon)	0,01 μm (0,001 μm)	0,41 $\mu m/m$
Hız	0- 0,3 m/s (20 m/s özel versiyon)	3 μm/s	0,1%
Açı	0-3600 arcsn	0,6 arcsn	0,2%
Doğrusallık	0-3 m	0,1 μm	1%
Düzgünlük	0-3 m	0,15 μm m/100 mm	0,5%

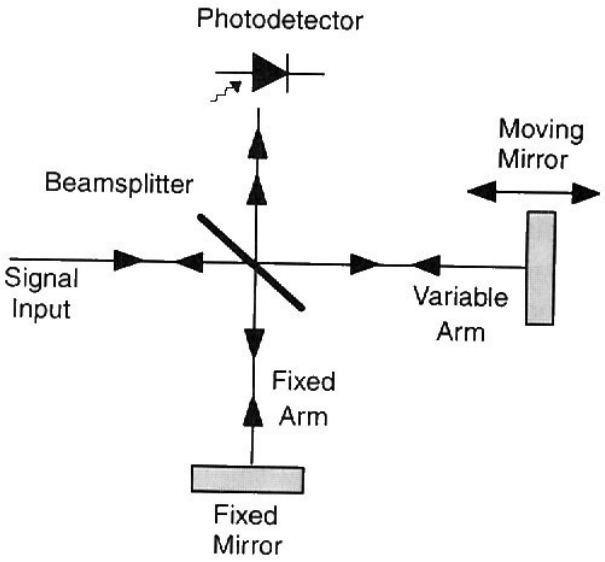
Çalışma Prensibi

İşlem için genelde Michelson interferometresi kullanılır. Sistem ışık kaynağı (Lazer,1), lineer interferometre optiği (Genelde ışık ayırıcı ve geri yansıtıcı elemanlarının kombine edilmesiyle kullanılır. 2), lineer hareketli geri yansıtıcı (3).

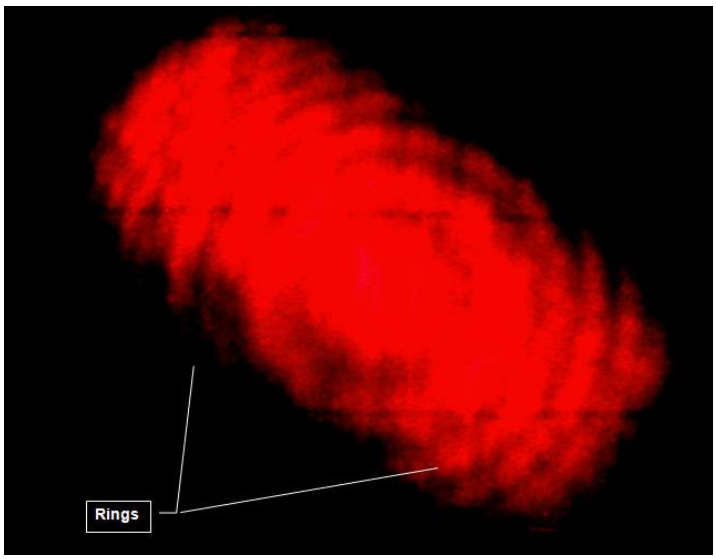


Şekil. 6.33 Lazer İnterferometre çalışma prensibi [36]

Işık kaynağından çıkan lazer ayırıcı kısıma geldiği zaman ikiye ayrılır. Işınlardan birisi direk karşıya tarafa giderken diğeri 90 derece kırılarak sabitlenmiş geri yansıtıcıya gider. Kırılmadan karşıya giden ışın ise doğrusal olarak hareket eden geri yansıtıcıya gider. Geri yansıtıcılardan dönen ışınlar tekrar bir araya gelerek mikroskop yada foto-dedektor olan kısıma gelir. İki ışının aldıkları mesafe farklı olduğu (Şekil 6.31) için ışık girişimleri arasında farklılıklar olacaktır. Foto-dedektör kısmında bu girişim farklılığından faydalanarak hareketli geri yansıtıcının lineer aldığı mesafe hasas olarak ölçümlecektir [25].



Şekil 6.34 Lazer ışınının izlediği yol [36]



Şekil 6.35 Lazer ışını ile referans lazer ışını arasındaki girişim farkı

BÖLÜM 7

LAZER İNTERFEROMETRE ILE KOORDINAT EKSENLI ÖLÇÜM CIHAZI KALIBRASYONU

7.1 Prosedür

Lazer İnterferometre ile Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı kalibrasyon işlemi yabancı bir KEÖC üreticisinin servis firması ile gerçekleştirilmiştir. Lazer interferometre ile kalibrasyon işlemi diğer kalibrasyon yöntemlerine göre daha hassas olmasına rağmen, prosedürlerde çok sık kullanılmamaktadır. Bunun sebebi mastar ile kalibrasyon ücretine kıyasla daha pahalı olmasıdır. Cihaz tarafından çok büyük ölçme sapmaları meydana geldiği zaman, cihazda oluşan mekanik bir değişiklik sonrası veya ilk kurulum esnasında Lazer İnterferometre ile kalibrasyon işlemi tercih edilmektedir. Kullanımı zorunlu kılan başka bir gerekçe ise, çok büyük ölçüm hacimleri içeren Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazlarının Lazer İnterferometre ile kalibrasyon gerektirmesidir.

Lazer sistemleri her ne kadar hassas olarak kabul edilse de ölçüm işlemi esnasında hatalar meydana gelmektedir. Öncelikle çevre koşulları oldukça önemlidir. Lazer sistemi oda sıcaklığından ve hava akımından oldukça fazla etkilenmektedir. Bu sebeple ölçüm yapılacak ortamın sıcaklığına dikkat edilmelidir. Bu ölçüm bir laboratuar ortamında gerçekleştirildi. Ortam sıcaklığı $20.9 \pm 2\ ^{0}C$ olarak Lazer sisteminin sıcaklık sensörü tarafından ölçüldü.

Uygulamada kullanılan Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazda üç farklı eksende hava yastığı değişimi işlemi gerçekleştirildi. Hava yastığı değişimi sebebiyle sapma değerleri ilk başta oldukça büyüktür. Bu sebeple meydana gelen sapmalar ilk başta mekanik

düzeltmeler aracılığıyla azaltılmaya çalışıldı, hataların belirli değerlere düşürülmesiyle Lazer İnterferometre ile düzeltilemeyen hata değeri ölçüldü. Sonrasında ise düzeltilemeyen hata değerleri cihazın yazılım programına girilerek hesaplama sırasında hata payının da işleme alınması ile doğru bir şekilde büyüklük ölçümü sağlandı. Bu düzelmeye rağmen daha hassas bir ölçme işlemi için mastar bloklarıyla en son doğrulama gerçekleştirildi. Kalibrasyon işlemine başlarken ilk başta bahsettiğimiz mekanik yani kaba düzeltmeler bir mastar aracığıyla teknisyen tarafından deneme yanılma yoluyla gerçekleştirildi. (Şekil 7.33) Sonrasında mekanik düzeltme işlemi komparator aracılığıyla da gerçekleştirilir. Şekil 7.34- 7.35 görüldüğü gibi komparator ölçme kolu üzerine bağlanır. Komparator üst kısımda sıfırlandıktan sonra bir ölçüm de eksenin alt kısmında gerçekleştirilir. Bu ölçüm mesafesinde ölçme kolu ve referans malzemesi arasında fark aşağı konuma getirilen kompratör üzerinden okutulmak aracılığıyla hata tespit edilir. Bunun en aza indirile bilinmesi için matris aracılığı ile mekanik düzeltmeler gerçekleştirilir. Komparatör aracılığıyla belirlenen sapma değeri de cihazın yazılımına eklenir.

Şekil 7.33

Şekil 7.34

Şekil 7.35

(Etalon blok üzerinde komparatör ile sapma değerinin belirlenmesi.)

Mekanik ayarlama işlemi için 400 mm'lik bir mastarı referans kabul ederek ölçümler alıyoruz. Bunun için üç noktadan referans alındı ve x düzlemi belirlendi. z yönünde bir

noktadan ölçüm alarak düzleminin yönünü belirledik sonrasında doğrusal yönü yani eksen uzunluğunu belirlemek için y düzleminden iki nokta alındı. Bu noktanın uç noktası başlangıç noktası olarak belirlendi. Böylece parça referans olarak sisteme tanıtıldı. Ölçümler alınıldı. Sonrasında mastar 90 Derece döndürülerek işlem tekrar edildi. Buradaki farklar bize karesellik hatamızı verdi. Bu hata kabul edilemeyecek bir büyüklüğün üzerindeyse hata mekanik yöntemlerle düzeltilmeye devam edilir.

Burada kullanılan Lazer İnterferometre ile kalibrasyon işlemi için lazer tamamen Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazından bağımsız olarak verileri başka bir bilgisayara aktarmaktadır. Daha sonra bu bilgisayardan okunan büyüklükler KEÖC'na bağlı olan bilgisayarın yazılımına eklenir. Eklenen büyüklükler yazılım tarafından referans değerler olarak algılanarak sonradan KEÖC tarafından gerçekleştirilen büyüklüklerle kıyaslanarak ölçümler arasındaki farklar hata değerleri olarak belirlenir. Bundan daha gelişmiş kalibrasyon sistemlerinde kalibrasyon işleminde kullanılan lazer sistemi takipçi tiptedir. Bu sayede Lazerle ve Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazıyla ölçüm aynı anda gerçekleştirilerek daha doğru sonuçlar elde edilmektedir.

Bu işlemleri gerçekleştirdikten sonra referans küre yerleştirilerek merkezin konumu tanımlanır. Referans küre üzerinden en az dört nokta alınmalıdır. Kürenin çapı önceden bilgisayar üzerinden tanıtılmıştı. Burada yapılan ölçüm referans kürenin merkez noktasını belirlememizi sağlıyor. Bu nokta belirlendikten sonra prob ucunun çapını kürenin çapını aradaki mesafeyi göz önününde bulundurarak prob boyu hesaplanıyor ve prob kafasının x,y,z düzlenimde konumu hesaplanıyor. Bu değerler yazılıma yerleştiriliyor. Prob merkezinden küre merkezine olan uzaklık sırasında prob ucunun yarıçapı da bu ölçüm sayesinde yazılıma kaydedildi.

Kalibrasyon sırasında kullanılan Rainshaw marka oynar baş dik yönde 0-105 °C dönebilirlen kendi çevresinde 180 derece hareket serbestliğine sahip bir cihazdır. Sondalama hatasını bulabilmek için TS-EN ISO 10360 standardında da belirtildiği gibi kontrol küresi kullanılarak 25 er ölçüm gerçekleştirildi. Sondalama hatasını bulabilmek için kullanılan prob başının da kalibrasyon değerlerini bilmemiz gerekmekte. Bu sebeple yine referans küre kullanarak bu değeri bulma işlemi gerçekleştirildi.

Prob kafasının dönüklük değerlerini bulduktan sonra yazılıma düzeltme yaparak bu değerleri girmemiz gerekiyor.

Bunun için önceki değerler şu şekilde sıfırlanıyor;

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0 & 1 & 0 \\ -0 & -0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ve sonrasında referans küresi ile oynar baş kısmın dönüklük, eksenden kaçıklık değeri bulunur. Referans küre aracılığıyla oynar kısmın küreden uzaklığı ve açısal kaçıklıklar tespit edilir.

Orjin (0,0,0) noktası kolların üzerinde bulunan mıknatıslı kısımlar okuyucu tarafından okunduğu noktalar olarak kabul edilir(Şekil 7.36)

Kullanılan işlemdeki mastarın belirsizlik değeri belirsizlik Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazına ait üretici firma tarafından belirlenmiş ve yazılım aracılıyla belirlenmiştir. Bu masterin hata değeri 0,000217 μm dir. Probun çapı 4 mm, kürenin çapı ise 20 mm Bu veriler girildikten sonra ve referans kürenin merkezi belirlendikten sonra prob kalibrasyonu gerçekleştirilir. Kürenin merkezi referans alınarak istediğimiz prob uclarının kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. İşlem sırasında TS-EN ISO 10360-2'da belirtildiği gibi 5 ayrı büyüklük ölçü standardı, KEÖC'nın ölçme hacminde küre üzerinde 7 farklı yerden veya 7 farklı yönelimle 3 kez olmaz üzere 105 ölçüm alındı. Deney sonuçları ISO 10360'da belirtildiği gibi Gauss türü uyumlaştırılmış küre ile hesaplanır. Her bir 25 ölçüm için Gauss türü radyal uzaklık R, belirlenir. $(R_{enbüyük} - R_{enküçük})$

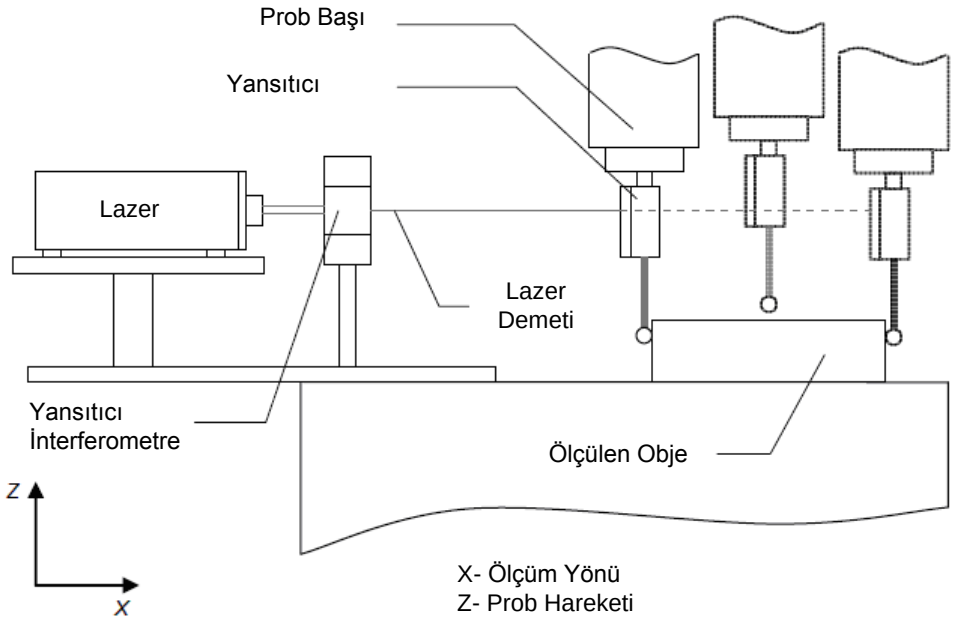
Prob mesafesi 93.7 mm olarak bulundu.

Açısal Kaçıklık değerleri ise;

$$E_{prob} = \begin{bmatrix} 0.99999924 & 0.00000056 & 0.000003958 \\ -0.0057929 & 0.99998316 & 0.99934922 \\ -0.0008365 & -0.00032459 & 0.933399359 \end{bmatrix}$$

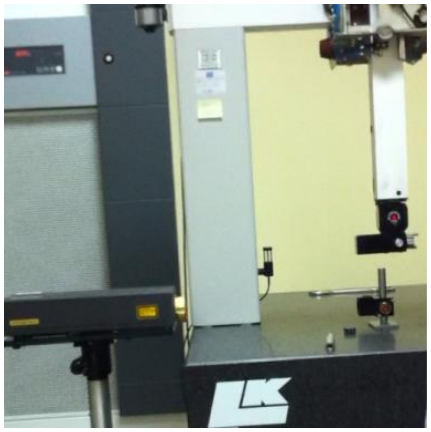
Şekil 7.36 Prob ucu kalibrasyonu

Prob ucu kalibrasyonu gerçekleştirildikten sonra mekanik ayarı gerçekleştirebilmek için 400 mm'lik mastırı 90° çevirerek x, y karesellik verileri ölçülür. Bu değerleri gerçek değerleri ile ölçebilmek için önceden gerçekleştirilmiş olan, yazılımda mevcut olan düzeltme amacıyla kullanılan veriler devreden çıkarılır. Bu işlem için mastar üzerinden referans noktaları alındı. Bu sayede ölçüm işlemini gerçekleştirerek kendi orjin noktasını değil mastarın orjin noktasını işlemi gerçekleştirmiştir.



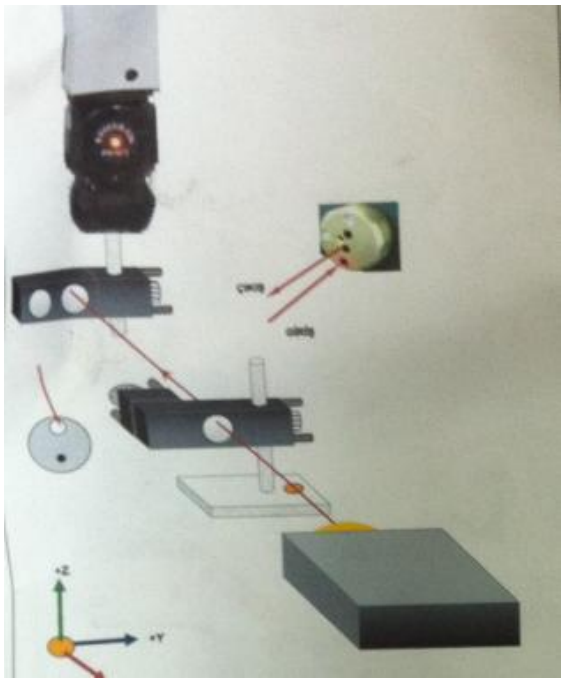
Şekil 7.36 Lazer İnterferometre ile kalibrasyon işlemi

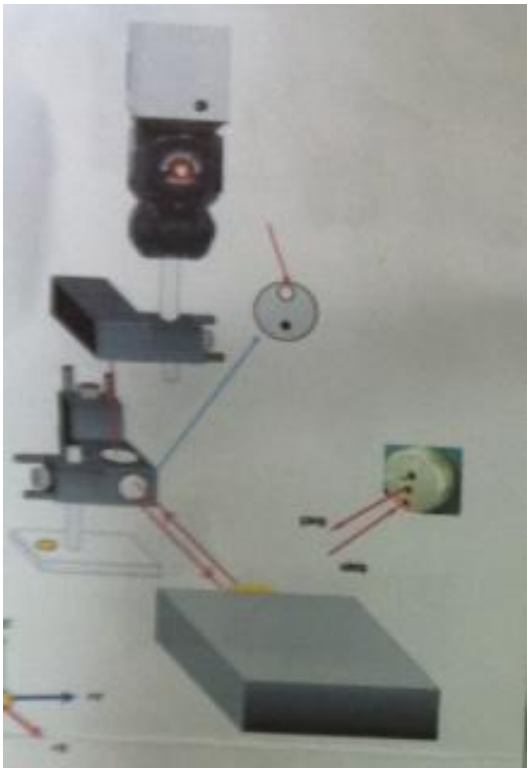
Şematik Gösterim



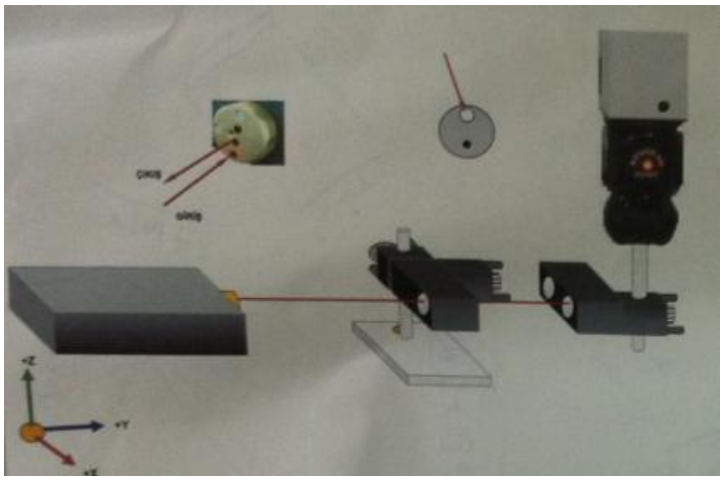
z lineer ölçümü x lineer ölçümü

Şekil 7.38 Lazer interferometre ile lineerlik kalibrasyonu





x lineer kalibrasyonu z lineer kalibrasyonu



y lineer kalibrasyonu

Şekil 7.39 Lazer interferometre ile lineerlik kalibrasyonu, şematik gösterim

x,y,z Açısallık kalibrasyonu

Lazerle kalibrasyon işlemine başlamadan önce lazerin ölçüm yapacağı hacmi belirleyebilmek için Koordinat Eksenli Ölçüm cihazının ölçüm yapılacağı hacmini belirledik. Bu değerler;

xmin: -450 mm

xmax: 150 mm toplam 600 mm

ymin: -400 mm

ymax: 200 mm toplam 600 mm

zmin: 50 mm

zmax: 200 mm toplam 250 mm

Lazer interferometre ile ölçme işlemine X lineer değerini hesaplamayla başladık. İlerleme uzunluğu 25 mm olarak belirlendi.

Eksen uzunluğu/adım+1 ile adım sayısı belirlendi.

(600/25)+1= 26 adım olarak belirlendi.

Bir eksen için 26 adım 3 defa tekrar edilerek bunun ortalaması alındı.

7.1.1 Belirsizliğin Hesaplanması

ISO 14253 standardına göre Tip-A belirsizlik formülü aracılığıyla belirsizlik hesaplaması;

Ortalama Değer;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{1}^{n} x_i \tag{7.25}$$

Standart Sapma;

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{(n-1)}} \tag{7.26}$$

Ortalama değerin Standart Sapması;

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{n \times (n-1)}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \tag{7.27}$$

7.1.1.1 Lineerlik Hatası

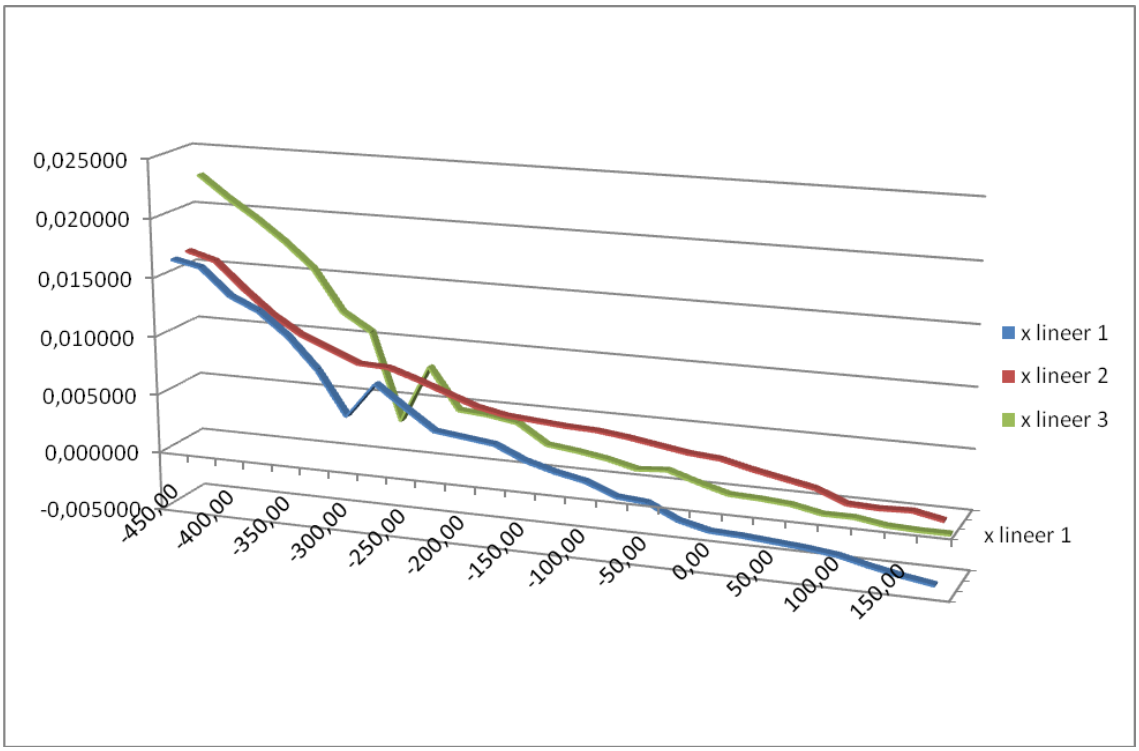
X ekseninde toplanan veriler mm değerinde;

Çizelge 7.6 x ekseni için veriler

x lineer 1	x lineer 2	x lineer 3
300,016500	300,016700	300,022700
300,016000	300,016000	300,020900
300,013800	300,013800	300,019300
300,012700	300,011800	300,017500
300,010800	300,010300	300,015400
300,008200	300,009300	300,011900
300,004500	300,008300	300,010400
300,007500	300,008200	300,003000
300,005700	300,007400	300,007900
300,004000	300,006500	300,004400
300,003700	300,005600	300,004200
300,003400	300,005100	300,003800
300,002300	300,004900	300,002200
300,001600	300,004700	300,001900
300,001100	300,004600	300,001500
300,000100	300,004300	300,000900

299,999900	300,003900	300,001100
299,998700	300,003500	300,000300
299,998100	300,003300	299,999600
299,998000	300,002700	299,999500
299,997800	300,002200	299,999300
299,997600	300,001700	299,998800
299,997300	300,000700	299,998800
299,996700	300,000600	299,998400
299,996200	300,000700	299,998300
299,995800	300,000200	299,998300

Çizelge 7.7 x ekseni için grafik



X lineer değeri için ortalama değerler;

$\bar{x}lin1$ = 300,003385 mm

$\bar{x}lin2$ = 300,006038 mm

$\bar{x}lin3$ = 300,005396 mm

$\bar{x}linort$ = 300,004939 mm

x ekseninin Standart Sapması veya Deneysel Varyans ;

s_x = 0,006349 mm olarak bulundu.

x ortalama değerinin Standart Sapması;

$s_{\bar{x}}$ = 0,0007188 mm olarak bulunur.

x için belirsizlik değeri ortalama değerin standart sapmasının t-students dağılımı yardımıyla bulunan güvenlik kat sayısı aracılığıyla bulunur. Bizim ölçüm sayımız x,y için 25+1 ve z için 10+1 olması sebebiyle h değeri 1 e eşittir.

Bu durumda x ekseni için belirsizlik değeri,

$u_x = s_{\bar{x},n} \times h$

u_x =0,00073311 $\times 1$ = 0,00073311 mm olarak bulundu

Y ekseni için toplanan veriler mm değerinde;

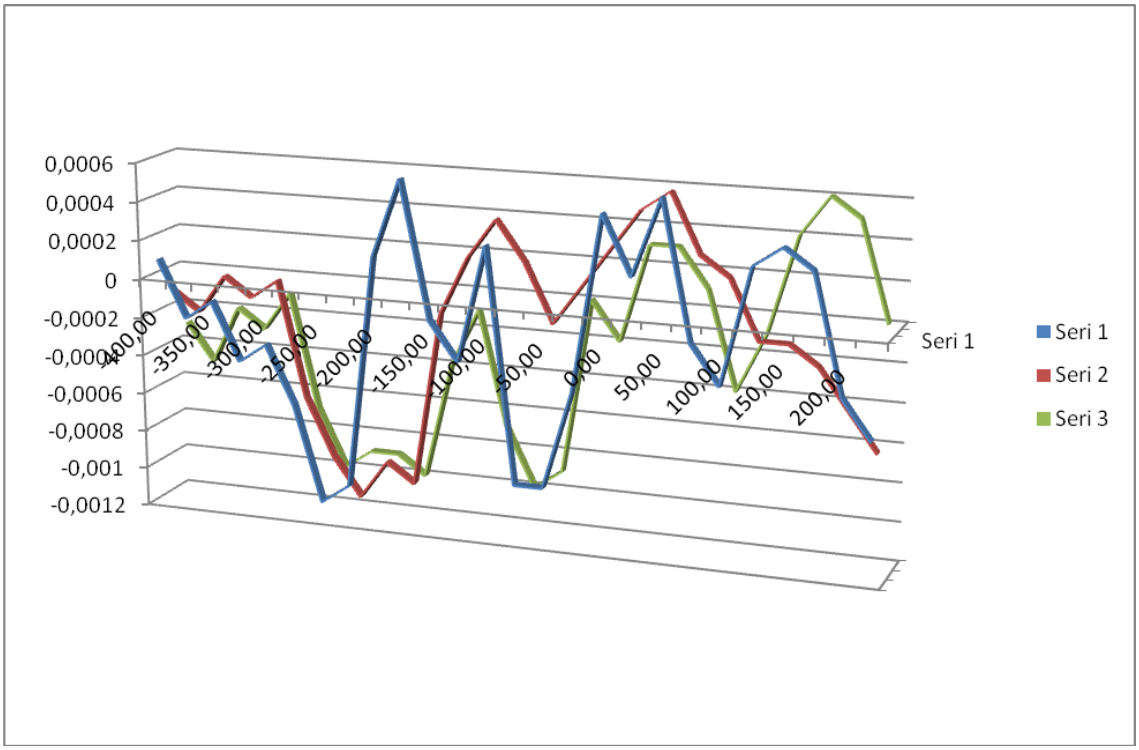
Çizelge 7.8 y ekseni için veriler

y lineer 1	y lineer 2	y lineer 3
300,000100	299,999900	299,999700
299,999800	299,999800	299,999500

299,999900	300,000000	299,999800
299,999600	299,999900	299,999700
299,999700	300,000000	299,999900
299,999400	299,999400	299,999300
299,998900	299,999100	299,999000
299,999000	299,998900	299,999100
300,000200	299,999100	299,999100
300,000600	299,999000	299,999000
299,999900	299,999900	299,999600
299,999700	300,000200	299,999900
300,000300	300,000400	299,999300
299,999100	300,000200	299,999000
299,999100	299,999900	299,999100
299,999600	300,000100	300,000000
300,000500	300,000300	299,999800
300,000200	300,000500	300,000300
300,000600	300,000600	300,000300
299,999900	300,000300	300,000100
299,999700	300,000200	299,999600
300,000300	299,999900	299,999900
300,000400	299,999900	300,000400

300,000300	299,999800	300,000600
299,999700	299,999600	300,000500
299,999500	299,999400	300,000000

Çizelge 7.9 y ekseni için grafik



y için değerler;

$\bar{y}_{lin1}$ = 299,999846 mm

$\bar{y}_{lin2}$ = 299,999858 mm

$\bar{y}_{lin3}$ = 299,999712 mm

y ekseninin ortalama değeri

$\bar{y}_{linort}$ = 299.999805 mm

y ekseninin Standart Sapması veya Deneysel Varyans

s_y = 0,000482 mm

y ortalama değerinin Standart Sapması;

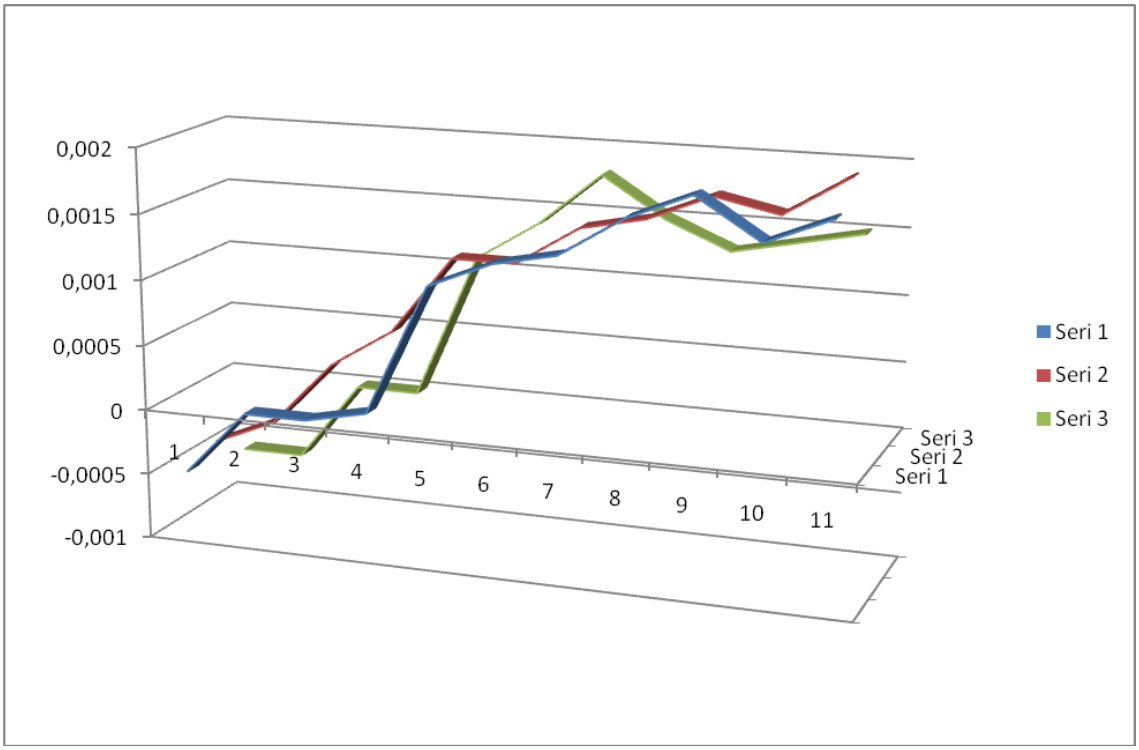
$s_{\bar{y}}$ = 0,00005457 mm

u_y = 0,00005457 $\times 1$ = 0,00005457 mm olarak bulundu.z ekseni için toplanan veriler mm değerinde;

Çizelge 7.10 z ekseni için veriler

z lineer 1	z lineer 2	z lineer 3
299,999500	299,999600	299,999400
300,000000	299,999800	299,999400
300,000000	300,000300	300,000000
300,000100	300,000600	300,000400
300,001100	300,001200	300,000700
300,001300	300,001200	300,001100
300,001400	300,001500	300,001400
300,001700	300,001600	300,001500
300,001900	300,001800	300,001300
300,001600	300,001700	300,001400
300,001800	300,002000	300,001500

Çizelge 7.11 z ekseni için grafik



z için değerler;

$\bar{z}_{lin1} =$ 300,000736 mm

$\bar{z}_{lin2} =$ 300,000945 mm

$\bar{z}_{lin3} =$ 300,001027 mm

$\bar{z}_{linort} =$ 300,00090 mm

z ekseninin 11×3 ölçüm için Standart Sapması veya Deneysel Varyans

$s_z = 0{,}000822$ mm

y ortalama değerinin Standart Sapması;

$s_{\bar{z}} = 0{,}000143$ mm

$u_z = 0{,}000143 \times 1 = 0{,}000143$ mm olarak bulundu.

7.1.1.2 Dalgalanma Belirsizliği (Roll)

Dalgalanma hatasının bulunabilmesi için

x için değerler;

$\bar{x}\,rolort$ = - 0,607692308 arc/sn

s_x = 0,160527975 arc/sn

13 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{x}}$ = 0,0257005 arc/sn

u_x = 0,0257005 $\times 1$ = 0,0257005 arc/sn olarak bulundu.

y için değerler;

$\bar{y}\,rolort$ = -0,690909091 arc/sn

s_y = 1,157112393 arc/sn

13 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{y}}$ = 0,18528 arc/sn

u_y = 0,18528 $\times 1$ = 0,18528 arc/sn olarak bulundu.

z için değerler;

$\bar{z}\,rolort$ = -4,647577778 arc/sn

s_z = -0,809025 arc/sn

11 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{z}}$ = -0,809025 arc/sn

u_z = - 0,809025 $\times 1$ = -0,809025 arc/sn olarak bulundu.

7.1.1.3 Sapma Belirsizliği (Yaw)

Ölçüm işlemine başlama pozisyonu -450.000 mm

Adım uzunluğu 50 mm:

$\bar{x}\ yaw1$ = -1,02462 arc/sn

$\bar{x}\ yaw2$ = -1,50538 arc/sn

$\bar{x}\ yaw3$ = -1,19385 arc/sn

$\bar{x}\ yawort$ = -1,24128 arc/sn

x ekseninin standart sapması;

s_x = 1,132343 arc/sn olarak bulundu.

x ortalama değerin Standart Sapması;

$s_{\bar{x}}$ = 0,1813 arc/sn olarak bulunur.

$u_x = s_{\bar{x},n} \times h$

u_x =0,1813 $\times 1$ = 0,1813 arc/sn olarak bulundu

y için değerler;

$\bar{y}\ yaw1$ = -0,84286 arc/sn

$\bar{y}\ yaw2$ = 0,03 arc/sn

$\bar{y}\ yaw3$ = -0,40643 arc/sn

$\bar{y}\ yawort$ = -0,40643 arc/sn

y ekseninin standart sapması;

s_y = 0,298369 arc/sn

y ortalama değerin standart sapması;

$s_{\bar{y}}$ = 0,0477 arc/sn

u_y = 0,0477 × 1=0,0477 arc/sn olarak bulundu.

z için değerler;

$\bar{z}\,linort$ = -0,01286 arc/sn

z ortalama değerin Standart Sapması;

s_z = 0,104994 arc/sn

z ortalama değerin Standart Sapması;

$s_{\bar{z}}$ = 0,01826 arc/sn

u_z = 0,01826 × 1 = 0,01826 arc/sn olarak bulundu.

7.1.1.4 Diğer Belirsizlik Bileşenleri

Bu kalibrasyon işleminde Koordinat Eksenli Cihazımızın dışında diğer belirsizlik kaynakları [26];

Lazer Dalga Boyu Hatası

Bir interferometre sistemi yer değişim söz konusu olduğu zaman optikler ölçümlü arasında girişimler oluşturur. Dalga boyu değiştiği zaman girişimler oluşturulur bu sebeble gerçek bir yerdeğişimi olmasa bile dalga boyu değişimiyle bu girişimler oluşabilir. Bu zahiri hareket ölçüm hatası olarak kabul edilir. Dalga boyu hassasiyeti lazer frekansının her bir -milyonda- parçalar (parts-per-million) olarak ifade ediliyor. Bu ifadeden de anladığımız gibi lazer hassasiyeti ölçtüğü mesafe ile değişiyor.

Formüle etmek istersek;

$$u_{LDB}(\mu m) = \frac{L(m)(\pm 0.02 \times 10^{-6})}{\sqrt{3}} = \frac{0,02L}{\sqrt{3}}$$

Buradaki L değerleri her eksen için maksimum ölçüm mesafesi hesaplanarak belirlenmiştir ve metre biriminde yazılmalıdır.

x, y için ekseni için L= 600 mm

$u_{1,x,y} = 6{,}92 \times 10^{-3}\,\mu m$

Z için L=250 mm

$u_{1,z} = 2{,}88 \times 10^{-3}\,\mu m$

Dalga Boyu Düzeltmesi

Normalde işlemi vakum altında gerçekleştirirken dalgaboyu sabittir. Ancak bizimki gibi atmosferik ortamda gerçekleşen ölçüm işleminde dalga boyunda değişimler boyunumlar olacaktır.

Çoğu ölçüm de atmosferik ortamda gerçekleştirilmesi sebebiyle bir düzeltme kat sayısı kullanılır. Kırınım indeksi n şu şekilde ifade edilir;

$$n = \frac{\lambda_v}{\lambda_a}$$

Buradaki n değeri sıcaklığa, basınca, bağıl neme, hava akımına bağlı bir fonksiyon değeridir.

Lazer interferometre sistemi dalga boyu miktarını aldığı yola bağlı olarak ölçer. Bu sebeple lazer interferometre ile ölçülen mesafe şu şekilde ölçeriz;

Mesafe= dalga boyu hareketi $\times \lambda_a$

Mesafe= dalga boyu hareketi $\times \frac{\lambda_v}{\lambda_a} \times \lambda_a$

Buradaki $\frac{\lambda_v}{\lambda_a}$ ifadesi dalga boyu düzeltme kat sayısı olarak ifade edilir. Bu ifade kırılım indeksinin tersidir;

$DDK = \frac{\lambda_a}{\lambda_v} = \frac{1}{n}$ olarak ifade edilir.

$WCN = \frac{\lambda_v}{\lambda_a}$

Aşağıdaki koşullarda hesaplanmış değerler hesaba katılarak dalgaboyu belirsizliği hesaplanmıştır;

Koşullar;

- 1 C° değişim için,
- Hava basıncında 2,3 mm civa değişimi için,
- %80 bağıl nemde

Bu koşullar altında termometrenin doğruluğu $\pm 0,2C^\circ$ ve barometrenin doğruluğu $\pm 2mHg$.

Bu durumda termometrenin doğruluğu $\pm \%20$ olarak belirlenmiş.

Bu durumda termometrenin, basıncın ve bağıl nemin değerleri sırasıyla; $\pm 0,2\,ppm, \pm 0,8\,ppm, \pm 0,25\,ppm$ olarak ifade edilir.

Dalgaboyu düzeltme kasayısı birleşik ifadeyle;

$$u_{DBD} = \sqrt{(\frac{0,2}{\sqrt{3}})^2 + (\frac{0,8}{\sqrt{3}})^2 + (\frac{0,25}{\sqrt{3}})^2}$$

$$u_{DBD}(ppm) = \frac{0.862}{\sqrt{3}}$$

metre ile ifade etmek istersek;

$$u_{DBD}(\mu m) = \frac{0.862 \times L}{\sqrt{3}}$$

Olarak bulunur.

Bu durumda x ekseni için belirsizlik değeri;

$u_{w,x,y} = 0,298\mu m$

z için ise;

$u_{w,z} = 0{,}124{,}41 \mu m$

olarak bulunur.

Malzemelerinin Termal Genleşme Katsayısı

TS- EN ISO 10360 standardında belirtilene göre Lazer interferometre kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerde havanın kırılma indeksi TGD (termal genleşme düzeltmesi, $\alpha = 0$) olarak alınır. Lazer sıcaklık sensörüne sahip ise lazer yazılımında bulunan TGD değeri 0 olarak girilmelidir. Kullanılan KÖM sıcaklık dengeli ise KÖM yazılımında TGD 0 olarak girilmelidir. Ancak benim yapmış olduğum uygulamada TGK' dan kaynaklanan küçük de olsa hatayı hesaba kattım.

Termal genleşme katsayısı kullanılan malzemenin özelliğine bağlı olarak değişmektedir.

Belirsizlik formülleri şu şekildedir;

Termometrenin standart belirsizliğinin dikdörtgen dağılıma göre olduğunu varsayarak;

$$u_T(\mu m) = \frac{\alpha(termometrenin doğ ru) \times L(m)}{\sqrt{3}}$$

$$u_\alpha(\mu m) = \frac{|T_m - 20|(0{,}1 \times \alpha) \times L(m)}{\sqrt{3}}$$

Şeklinde ifade edebiliriz.

L değeri metre ile ifade edilmektedir. Koordinat Eksenli Cihaz için katalogda belirtilmiş olan ortalama uzama katsayısı 6,5 ppm/der' dir. Termometre hassasiyeti $\pm 0.2C°$ olarak ifade edilmiştir. Burada malzemenin termal genleşme katsayısı%10 olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple α değeri formülde $0{,}1 \times \alpha$ olarak yazılmıştır T_M in ve α değerleri birbirlerinden bağımsız ifadelerdir. Kısmi türevlerini alınarak birleşik termal hatamız şu hale gelir [26] ;

$$\partial MTG / \partial \alpha = (T_M - 20) \text{ ve } \partial MTG / T_M = \alpha$$

$$\partial MTG / T_M = \alpha = \frac{6{,}5 \times 0{,}2}{\sqrt{3}}$$

$$\partial MTG / \partial \alpha = (20{,}02 - 20) \times L$$

$$u_{MTG}(ppm) = \sqrt{u_{\alpha}^{'2} + u^{'2}{}_{T}}$$

metre ile ifade etmek istersek;

$$u_{MTG}(\mu m) = L\sqrt{u_{\alpha}^{'2} + u^{'2}{}_{T}}$$

Optiklerin Termal Belirsizlikleri

Lazer İnterferometre sistemi ortamın sıcaklık değişiminden oldukça etkilenen bir sistemdir. Sıcaklık değişimi optik elementlerin fiziksel boyutunda ve ışığı kırma etkisinde değişikliklere sebep olacaktır. Tipik bir optiğin termal değişimi $0{,}5\mu m / C^{\circ}$ olarak işleme katılır. Burada bahsedilen değişim sabittir ve sadece interferometrenin sıcaklık değişime bağlı olarak değişir ölçülen mesafe büyüklüğü ile ilgili değildir. Ölçüm işleminin gerçekleştiği esnada değerlendirilmesi gereken bir ifadedir [26].

$$u_{OTB} = \frac{0{,}2}{\sqrt{3}}(0{,}5\mu m / derece) = \frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\mu m$$

7.1.1.5 Birleşik Belirsizlik Değerinin Hesaplanması

Birleşik belirsizlik hesaplaması için önemli olan, bütün belirsiz kaynaklarının belirsizlik değerinin hesaplanması ve değerlendirilmesidir.

Bu ifadenin bulunması için her bir hata türü ve bu hata türünün her bir ekseni için ayrı ayrı belirsizlik değeri bulunur ve bu değerlerden en büyük olanı işleme alınır.

$$U_x = \sqrt{(u_x)^2 + (u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_x = \sqrt{(\mathrm{u_x})^2 + \left(\frac{L(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + ((T_{ort}-20)\times L)^2 + \left(\frac{6{,}5\times0{,}2\times L}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Her bir işlem ve eksen için birleşik belirsizlik değerleri;

- Lineerlik hatası;

x ekseni için,

$$U_{linx} = \sqrt{(0{,}0007188)^2 + \left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + \left(\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$U_{linx} = 0{,}6817\ \mu m$

y ekseni için,

$$U_{liny} = \sqrt{(0{,}00005457)^2 + \left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + \left(\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$U_{liny} = 0{,}6861\ \mu m$

z ekseni için,

$$U_{linz} = \sqrt{(0{,}000143)^2 + \left(\frac{0{,}25(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}25)^2 + \left(\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}25}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$U_{linz} = 0{,}5372\ \mu m$

Bu üç belirsizlik değeri arasından en büyük ifade olan y ekseninin belirsizlik değeri seçilir. Bu durumda lineerlik belirsizlik hatası 0,6817 μm olarak belirlenir.

$U_{lin} = 0{,}6817\ \mu$m

- Dalgalanma Belirsizliği (Roll)

Dalgalanma belirsizliği ve sapma belirsizliğinde lineerlik belirsizliğine göre farklı birimde sonuçlar elde edilir, burada bulduğumuz değerler derece saniyedeki derece değişimi ifadesiyle bulunur. Bu sebeple belirsizlik hesaplamasında en büyük arc/sn ifadesi ve lazer interferometreden kaynaklanan hatalar şeklinde veri elde edilir.

x için,

u_x = 0,0257005 arc/sn

Lazer İnterferometreden kaynaklanan;

$$U_{Dx} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2{}_T)}$$

$$U_{Dx} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dx}=0,4681 μm

y için,

u_y = 0,18528 arc/sn

$$U_{Dy} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2{}_T)}$$

$$U_{Dy} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dy} = 0,4681 μm

z için,

u_z = - 0,809025 arc/sn

$$U_z = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_{Dz} = \sqrt{\left(\frac{0,25(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0,2\times0,25)^2 + (\frac{6,5\times0,2\times0,25}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dz} = 0,2886 μm

- Sapma Belirsizliği (Yaw)

Sapma belirsizliği de dalgalanma belirsizliğinde olduğu gibi arc/sn cinsinden bir birimle saniyede ki derece değişimi birimiyle bulunur.

Bu değerler;

x için,

u_x =0,1813 $\times$1 = 0,1813 arc/sn

$$U_{Dx} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2{}_T)}$$

$$U_{Dx} = \sqrt{\left(\frac{0,6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0,2\times0,6)^2 + (\frac{6,5\times0,2\times0,6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dx} = 0,4681 μm

y için,

u_y = 0,0477$\times$1 = 0,0477 arc/sn

$$U_{Dy} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{\alpha}^{'2} + u^{'2}{}_{T})}$$

$$U_{Dy} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dy} = 0,4681 μm

z için,

u_z = 0,01826 $\times$1 = 0,01826 arc/sn

$$U_{Dz} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_{Dz} = \sqrt{\left(\frac{0{,}25(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}25)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}25}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dz} = 0,2886 μm

Dalgalanma ve Sapma hataları arasında en büyük değer olan u_z = - 0,809025 arc/sn belirsizliği arc/sn biriminde; 0,4681 μm ise diğer hatalardan kaynaklanan mikro metre cinsinden hata düzeltme faktörüdür.

Ölçmenin genişletilmiş belirsizliği (U) ise güvenlik kat sayısı ile bulunmuş olan belirsizlik değerinin çarpılmasıyla hesaplanır. Kapsam faktörü, (k) normal olarak 2 ile 3 arasındadır. Bu prosedür için k=2 olarak belirlendi ve genişletilmiş belirsizlik;
U = - 1,61805 arc/sn, U= 0,9362 μm

7.1.1.6 Doğrulama

Lazerle kalibrasyon sonrasında düzeltme sayıları yazılıma girildi. Sonrasında mastırla tekrar kalibrasyon işlemi gerçekleştirildi. Burada bulunan daha küçük hata değerleri de yazılımda düzeltildikten sonra doğrulama prosedürü gerçekleştirildi.

X ekseninde 300 mm'lik mastarda -3,5 mikron hata bulundu. Yazılım üzerinde düzeltme işlemi tamamlandıktan sonra tekrar doğrulama işlemi yapıldı ve sonuç 300 mm'lik mastar için;

x için,

300.00036 mm

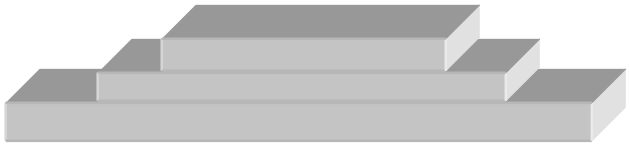
y için,

300.0004

z için,

300.00043 mm olarak bulundu.

Uzunluk mastırının gerçek ölçüsü 300.0001 mm, 200.00017 mm, 100.00012 mm;



Şekil 7.40 Kullanılan Mastar

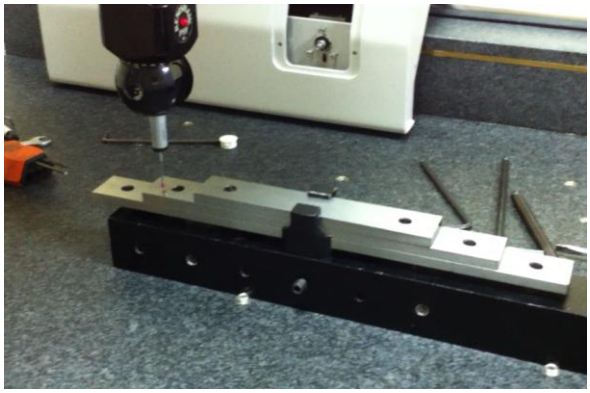
Yazılım üzerinden de düzeltmeleri gerçekleştirdikten her üç mastırı için otomatik olarak ölçüm gerçekleştirildi. Örneğin 200'lük mastar için bulunan değerler;

200 mm'li mastar için;

200.00017 mm

200.00190 mm

200.00240 mm olarak bulundu.



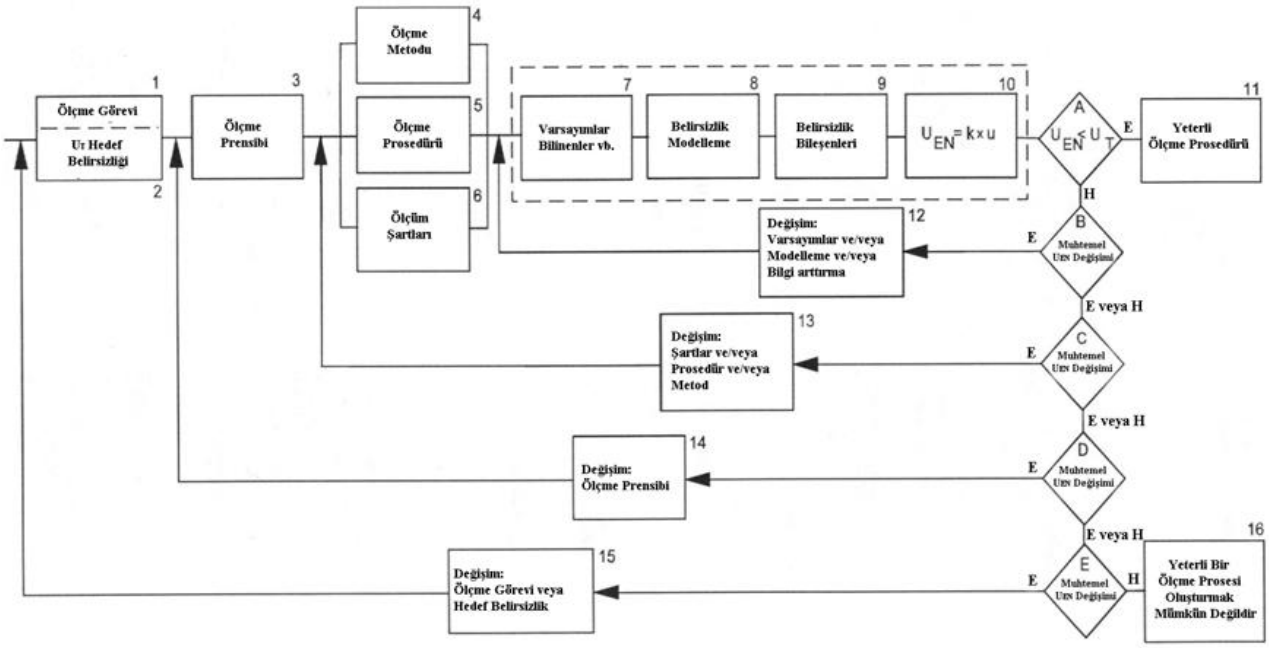
x ekseninde lineer doğrulama

z ekseninde lineer doğrulama

Şekil 7.41 Mastar ile doğrulama işlemi

Belirsizlik hesaplamamız için önemli olan bütün belirsiz kaynaklarının belirsizlik değerinin hesaplanması ve değerlendirilmesidir.

7.1.1.7 Belirsizlik Raporu

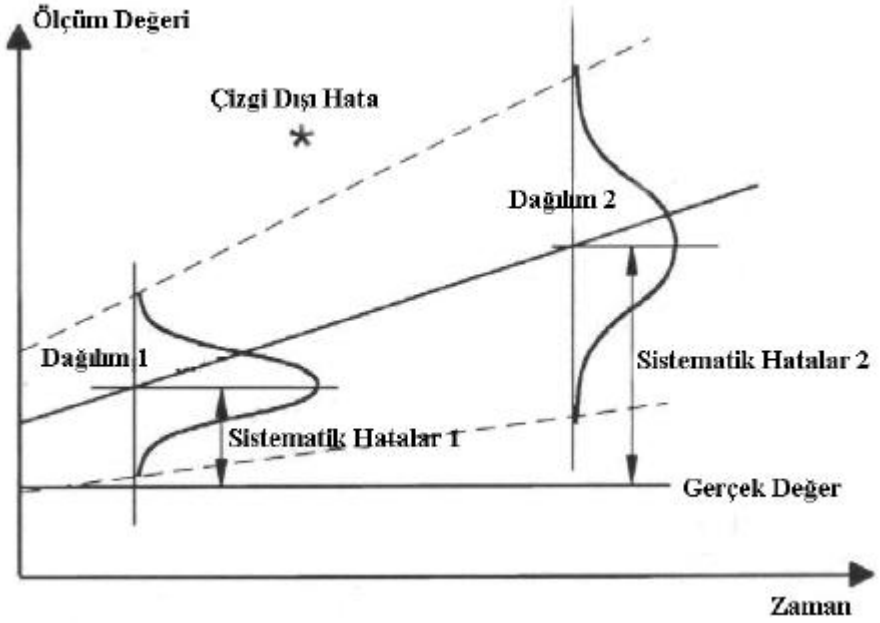


Şekil 7.42 Belirsizlik raporu yönetimi

İşlemin belirsizlik raporu oluşturulmasında ISO TS 14253'de belirtilen basamaklar uygulanıldı. Özetlemek gerekirse;

Öncelikle ölçme görevinde istenilenler ve hedef belirsizlik değeri ele alındı. Bizim kalibrasyon işlemini gerçekleştikmek istediğim cihazın belirsizlik değeri KEÖC'nın kabul edeceği bir değerde olması gerekliydi. Bu değer mikro birimde virgülden sonra dördüncü basamak olarak belirlendi. Bu doğrultuda ölçme prensibi belirlendi (kutu 3) Sonrasında servis firma tarafında bu hassasiyette kalibre edebilecek cihazlarla ölçme ölçme presedürü belirlendi. Bu işlem için etalon bloklar ve Lazer İnterferometre cihazı tercih edildi. Bu cihaz çevre şartlarından çok daha az etkilenerek, çok daha hassas kalibrasyon işlemi gerçekleştirebilir. İşletmenin imkanları ve tecrübesi de temel alınarak başlangıç için bir ölçme metodu (kutu 4) , ölçme prosedürü (kutu 5) ve ölçüm şartları (kutu 6) belirlemesi yapıldı ve bunlar belgenedi. İşlem boratuar ortamında gerçekleştirildi ve hassas ölçüm yapabilmek için gerekli alt yapı mevcuttu. Sonrasında prosedur kısmında da anlatılan TS-EN ISO 10360 doğrultusunda kalibrasyon işlemi gerçekleştirildi (7-10). Bulunması istenilen (lineerlik, sapma vb.) hataların her biri için bu işlem gerçekleştirildi ve genişletilmiş belirsizlik değerleri bulunuldu.

İşlem sırasında bu değerler deki hata değerleri hemen hemen birbirlerine yakınken sapma belirsizliği değerinde birden çok daha büyük bir hata elde edildi. Bu hata diğer hatalarla kıyaslanım incelendiği zaman sistematik olmayan çizgi dışı bir hata olduğu tespit edildi.



Şekil 7.43 Ölçme işleminin hata tipler

Bu sebeble bu belirsizlik hesabı için tekrar 10. kutudan 7. kutuya geri dönüş yapıldı. İşlem en başında da bahsettiğimiz gibi hava yastığı değişimi sebebiyle gerçekleştirilmişti. Sapma hatasının bu kadar büyük olmasının sebebi, teknisyenin deneyimi sayesinde (B tipi değerlendir), y ekseninde bulunan hava yastıklarından birinin yanlış konumundan kaynaklandığı bulundu ve bu düzeltildikten sonra 7,8,9,10 kutu işlemleri yenilenerek işleme devam edildi. En son belirlenmiş olunan hedef belirsizliğin KEÖC yazılı tarafından kabul edilmesi üzerine ($U_{EN} < U_T$) işlem tamamlandı.

7.2 Aynı Cihazın Önceki Kalibrasyon İşlemi Verileri

7.2.1 Belirsizliğin Hesaplanması

Karşılaştırma yapmak amacıyla beş yıl önceki verilerinin bilgisayara kayıtlı olması sayesinde hesaplamalar gerçekleştirildi.

Bu hesaplamalara göre;

7.2.1.1 Lineerlik Hatası

X lineer değeri için ortalama değerler;

$\bar{x}lin1$ = 300,0008 mm

$\bar{x}lin2$ = 300,0009 mm

$\bar{x}lin3$ = 300,0008 mm

$\bar{x}linort$ = 300,0008347 mm

x ekseninin Standart Sapması veya Deneysel Varyans ;

s_x = 0,001163928 mm

olarak bulundu.

x ortalama değerinin Standart Sapması;

$s_{\bar{x}}$ = 0,00013178 mm olarak bulunur.

x için belirsizlik değeri ortalama değerin standart sapmasının t-students dağılımı yardımıyla bulunan güvenlik kat sayısı aracılığıyla bulunur. Bizim ölçüm sayımız x,y için 25+1 ve z için 10+1 olması sebebiyle h değeri 1 e eşittir.

Bu durumda x ekseni için belirsizlik değeri,

$u_x = s_{\bar{x},n} \times h$

u_x =0,00013178 $\times 1$ = 0,00013178 mm olarak bulundu

Y ekseni için toplanan veriler mm değerinde;

y için değerler;

$\bar{y}lin1$ = 299,9998 mm

$\bar{y}lin2$ = 299,9999 mm

$\bar{y}lin3$ = 299,9998 mm

y ekseninin ortalama değeri

$\bar{y}linort$ = 299,9998016 mm

y ekseninin Standart Sapması veya Deneysel Varyans

s_y = 0,00049919 mm

y ortalama değerinin Standart Sapması;

$s_{\bar{y}}$ = 0,00005652 mm

u_y = 0,00005652 $\times 1$ = 0,00005652 mm olarak bulundu.

z ekseni için toplanan veriler mm değerinde;

$\bar{z}lin1$ = 300,001 mm

$\bar{z}lin2$ = 300,0012 mm

$\bar{z}lin3$ = 300,0013 mm

$\bar{z}linort$ = 300,0012 mm

z ekseninin 11×3 ölçüm için Standart Sapması veya Deneysel Varyans

s_z = 0,00078766 mm

z ortalama değerinin Standart Sapması;

$s_{\bar{z}}$ = 0,000143 mm

u_z = $0{,}000137 \times 1$ = 0,000137 mm olarak bulundu.

7.2.1.2 Dalgalanma Belirsizliği (Roll)

Dalgalanma hatasının bulunabilmesi için

x için değerler;

$\bar{x}rolort$ = -0,37692 arc/sn

s_x = -0,37692 arc/sn

13×3 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{x}}$ = 0,04267 arc/sn

u_x = $s_{\bar{x}}$ = $0{,}04267 \times 1$ = $s_{\bar{x}}$ = 0,04267 arc/sn olarak bulundu.

y için değerler;

$\bar{y}rolort$ = -0,53636 arc/sn

s_y = 1,157112393 arc/sn

13×3 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{y}}$ = 0,1852 arc/sn

u_y = $0{,}1852 \times 1$ = 0,1852 arc/sn olarak bulundu.

z için değerler;

$\bar{z}\,rolort$ = -6,24689 arc/sn

s_z = 6,289527 arc/sn

11 ölçüm tekrarı için ortalama değerin standart sapması

$s_{\bar{z}}$ = 1,09486 arc/sn

u_z = 1,09486 $\times 1$ = 1,09486 arc/sn olarak bulundu.

7.2.1.3 Sapma Belirsizliği (Yaw)

Ölçüm işlemine başlama pozisyonu -450.000 mm

Adım uzunluğu 50 mm:

$\bar{x}\,yaw1$ = -0,41538 arc/sn

$\bar{x}\,yaw2$ = -0,36154 arc/sn

$\bar{x}\,yaw3$ = -0,43846 arc/sn

$\bar{x}\,yawort$ = -0,40513 arc/sn

x ekseninin standart sapması;

s_x = 0,870254 arc/sn olarak bulundu.

x ortalama değerin Standart Sapması;

$s_{\bar{x}}$ = 0,1393 arc/sn olarak bulunur.

$u_x = s_{\bar{x},n} \times h$

u_x =0,1393 $\times 1$ = 0,1393 arc/sn olarak bulundu

y için değerler;

$\bar{y}\,yawort$ = 0,369697 arc/sn

y ekseninin standart sapması;

s_y = 0,597121 arc/sn

y ortalama değerin standart sapması;

$s_{\bar{y}}$ = 0.09561 arc/sn

u_y = 0.09561 $\times$1= 0.09561 arc/sn olarak bulundu.

z için değerler;

$\bar{z}$ *yawort* = -0,20741 arc/sn

z ortalama değerin Standart Sapması;

s_z = 0,420555 arc/sn

z ortalama değerin Standart Sapması;

$s_{\bar{z}}$ = 0.07320 arc/sn

u_z = 0.07320 $\times 1$ = 0.07320 arc/sn olarak bulundu.

7.2.1.4 Birleşik Belirsizlik Değerinin Hesaplanması

Her bir işlem ve eksen için birleşik belirsizlik değerleri bulunmasında önceki kalibrasyon işlemi anlatımında da ifade edildiği gibi diğer belirsizlik bileşenleri de işleme dahil edilir.

Bu ifadenin bulunması için her bir hata türü ve bu hata türünün her bir ekseni için ayrı ayrı belirsizlik değeri bulunur ve bu değerlerden en büyük olanı işleme alınır.

$$U_x = \sqrt{(\mathrm{u_x})^2 + (u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_x = \sqrt{(\mathrm{u_x})^2 + \left(\frac{L(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + ((T_{ort}-20)\times L)^2 + \left(\frac{6{,}5\times0{,}2\times L}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

- Lineerlik hatası;

x ekseni için,

$$U_{linx} = \sqrt{0{,}00013178^{\,2} + \left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

$U_{linx} = 0{,}68417835\ \mu m$

y ekseni için,

$$U_{liny} = \sqrt{(0{,}00005652\ \ )^2 + \left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

$U_{liny} = 0{,}68618341\ \mu m$

z ekseni için,

$$U_{linz} = \sqrt{(0{,}000137\ )^2 + \left(\frac{0{,}25(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}25)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}25}{\sqrt{3}})^2}$$

$U_{linz} = 0{,}5372\ \mu m$

Bu üç belirsizlik değeri arasından en büyük ifade olan y ekseninin belirsizlik değeri seçilir. Bu durumda lineerlik belirsizlik hatası $0{,}6861\ \mu m$ olarak belirlenir.

$U_{lin} = 0{,}6861\,\mu\text{m}$

- Dalgalanma Belirsizliği (Roll)

Dalgalanma belirsizliği ve sapma belirsizliğinde lineerlik belirsizliğine göre farklı birimde sonuçlar elde edilir, burada bulduğumuz değerler derece saniyedeki derece değişimi ifadesiyle bulunur. Bu sebeple belirsizlik hesaplamasında en büyük arc/sn ifadesi ve lazer interferometreden kaynaklanan hatalar şeklinde veri elde edilir.

x için,

u_x = 0,04267 arc/sn

Lazer İnterferometreden kaynaklanan;

$$U_{Dx} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2{}_T)}$$

$$U_{Dx} = \sqrt{\left(\frac{0,6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0,2\times0,6)^2 + (\frac{6,5\times0,2\times0,6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dx}=0,4681 μm

y için,

u_y = 0,1852 arc/sn

$$U_{Dy} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2{}_T)}$$

$$U_{Dy} = \sqrt{\left(\frac{0,6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0,2\times0,6)^2 + (\frac{6,5\times0,2\times0,6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dy} = 0,4681 μm

z için,

u_z = 1,09486 arc/sn

$$U_z = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_{Dz} = \sqrt{\left(\frac{0{,}25(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}25)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}25}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dz} = 0,2886 μm

- Sapma Belirsizliği (Yaw)

Sapma belirsizliği de dalgalanma belirsizliğinde olduğu gibi arc/sn cinsinden bir birimle saniyedeki derece değişimi birimiyle bulunur.

Bu değerler;

x için,

u_x =0,1393 $\times$1= 0,1393 arc/sn

$$U_{Dx} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2_T)}$$

$$U_{Dx} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dx} = 0,4681 μm

y için,

u_y = 0.09561 $\times$1= 0.09561 arc/sn

$$U_{Dy} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_\alpha{}'^2 + u'^2_T)}$$

$$U_{Dy} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6(m)(0.02\times10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0{,}2\times0{,}6)^2 + (\frac{6{,}5\times0{,}2\times0{,}6}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dy} = 0,4681 μm

z için,

u_z = 0.07320×1 = 0.07320 arc/sn

$$U_{Dz} = \sqrt{(u_{LDB})^2 + (u_{DBD})^2 + (u_{OTB})^2 + (u_{MTG})^2}$$

$$U_{Dz} = \sqrt{\left(\frac{0,25(m)(0.02 \times 10^{-6})}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.862}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2 + (0,2 \times 0,25)^2 + (\frac{6,5 \times 0,2 \times 0,25}{\sqrt{3}})^2}$$

U_{Dz} = 1,09486 μm

Dalgalanma ve Sapma hataları arasında en büyük değer olan u_z = 1,09486 arc/sn belirsizliği arc/sn biriminde; 0,4681 μm ise diğer hatalardan kaynaklanan mikro metre cinsinden hata düzeltme değeri olarak bulunmuş, yazılıma bu değerler düzeltme faktörü olarak girilmiştir.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERILER

Bu çalışmada metroloji, standardizasyon ve kalibrasyon işlemi ile ilgili verilen bilgiler sonrası kalite, Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı kalibrasyonu için gerekli olan standartlar, gereçler ve kullanılan cihazın türleri anlatıldı. Uygulama kısmında ise bir kalibrasyon firması ile uygulamalı bir kalibrasyon işlemi gerçekleştirildi.

Kalite şartlarını sağlamış olan bir ölçüm veya üretim prosesinin takip edilebilirliği için standartlara uygun bir şekilde ölçüm yolu izlenmeli ve sonuçlar buna uygun bir şekilde ifade edilmelidir. Bu beraberinde yüksek bir güvence ve ölçüm kalitesi sağlayacaktır. Bunu gerçekleştirmek için yapılacak çalışmalar, sistemdeki hata kaynaklarının ayrıntılı bir analizini gerektirmektedir. Hata ve belirsizlik kaynaklarının analizi ile başlayan proses öncelikli olarak, bunların ölçme prosesi üzerindeki etkilerini bulup düzeltmeyi amaçlamaktadır. Düzeltme faktörü saptanamayan hata kaynakları için belirsizlik değerleri hesaplanarak ölçümün güvenilirliği tespit edilmektedir. Bu işlem gerçekleştirilirken hataya sebep olan kaynaklar oldukça dikkatli incelenmelidir. Hata kaynaklarının ayrıntılı analizi için her birinin etki değeri işleme konulmalıdır. Analiz modeli her bir hata faktörünün değerini göstermektedir. Bu sayede elde edilen analiz modeli hata kaynaklarının etkilerini ayrı değerlendirebilme konusunda kullanıcıya rehberlik etmektedir(39).

Koordinat Eksenli Ölçüm cihazı gerek ölçüm esnekliği gerekse ölçüm doğruluğu açısından oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak cihazın gerek üretiminin

ülkemizde gerçekleşmemesi sebebiyle kalibrasyon işlemi için de üretici firmalardan servis hizmeti alındığı gözlemlenmiştir. Bu bir tek bizim ülkemizde değil yabancı üretici firma cihazı kullanan bütün ölçüm cihazlarında geçerli olan bir prosedürdür. Servis veren firma üretici firma tarafından verilmiş direktifleri uygulanarak kalibrasyon işlemini gerçekleştirmektedir.

Bu direktifler şu şekildedir;

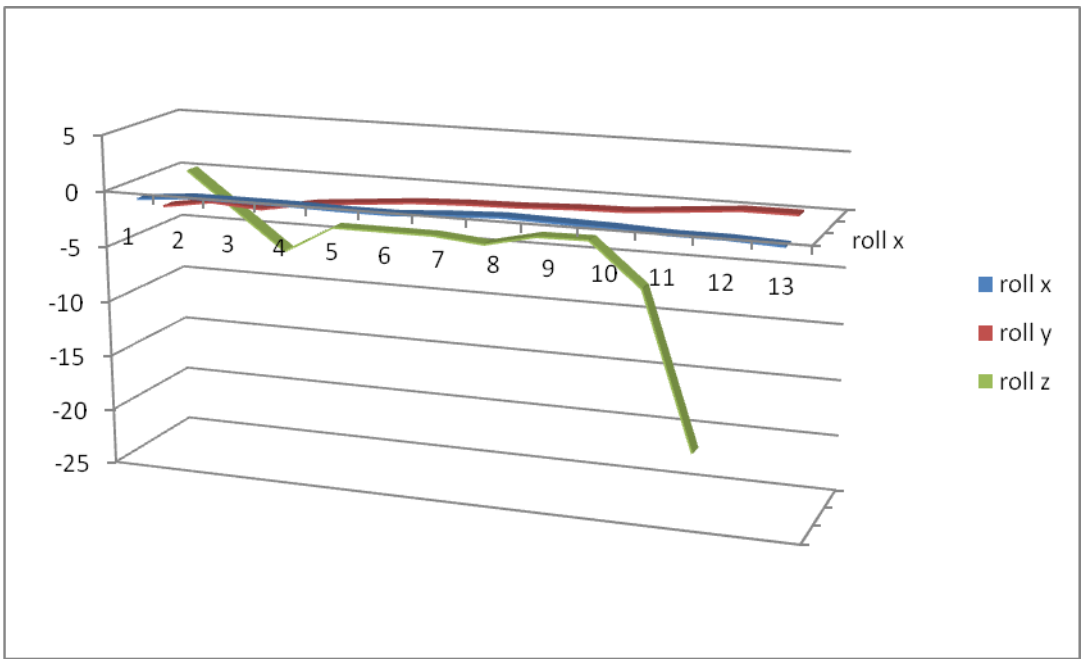
İşlem sırasında başka bir bilgisayara bağlı Lazer İnterferometre ile ölçüm gerçekleştirdikten sonra veriler Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazın bağlı olduğu bilgisayarın yazılımına girilir ve yine üretici firmanın sağladığı kontörlü kullanıma sahip yazılıma veriler girilir. Program tarafından belirsizlik hesaplamaları gerçekleştirilir ve düzeltmeleri yine kendi yazılımı işleme koymaktadır.

İşlem basamaklarından da anlaşıldığı üzere kalibrasyon işleminin belirsizlik hesaplamaları üretici firma tarafından bilgisayar yazılımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sebeble üretici firmanın hangi tür belirsizlik kaynaklarını nasıl hesaba kattığı tam olarak bilinmemekte. Standartların (ISO; VDI) bu konuda da net ibr sınır koymayışı, yoruma açık bırakışı sebebiyle birden fazla KEÖC belirsizlik değerinin kendi arasında karşılaştırılamayacağı gözlemlenmiştir.

Çalışmada optimizasyon amacıyla ISO 10360 ve ISO 14253 standartları doğrultusunda gerçekleştirilmiş olan bu prosedür alındı. Prosedür hava yastıkları değişen köprü tipi bir Koordinat Eksenli ölçüm cihazında gerçekleştirildi. Kalibrasyon cihazın üretici firmasına bağlı bir servis firması tarafından gerçekleştirildi. Katılmış olduğum kalibrasyon işlemi uygulamasında dokuz farklı geometrik belirsizlik kaynağı üzerinde durulmuştur. Normal şartlar altında birbirinden farklı yirmi bir geometrik hata mevcuttur. Çok hassas olmayan kalibrasyon işlemlerinde bu hataların hepsinin incelenmesine ihtiyaç duyulmamakta bunun yerine belirsizlik değerini mikro boyuta getirdikten sonra Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazına ait yazılım aracılığıyla ölçüm değerinin düzeltilmesi amaçlanmaktadır. Bütün geometrik hata kaynaklarının belirsizlik değerinin hesaplanması ve düzeltmesi hem büyük bir zaman dilimi hem de daha fazla maddi kaynak anlamına gelmektedir. Uygulamanın gerçekleştirildiği cihazda da sadece doğrusallık ve açısal hatalar üç eksen üzerinde belirlenim yazılım aracılığıyla düzeltildikten sonra doğrulama kısmında da anlaşıldığı üzere belirsizlik değerleri amaçlanan değerlere ulaşmıştır. Lineerlik, dalgalanma ve sapma belirsizlikleri ele

alındı. Bu konumlarım sapma değerleri lazer interferometre referansında belirlenip CMM yazılımında eklendikten sonra yazılımın tarafından düzeltilebilen değer aralına ulaşınca kalibrasyon işlemi sonlandırılmaktadır. Belirsizlik analizleri bilgisayar programı tarafından ölçüm değerleri alındıktan sonra hesaplanmaktadır. Gerçekleştirilen prosedürde lineerlik, dalgalanma ve sapma verileri ölçüldükten sonra belirsizlik hesaplamaları gerçekleştirildiğinde z yönünde oldukça büyük bir sapma olduğu görüldü.

Çizelge 8.12 x,y,z ekseni verilerinin karşılaştırılması



Buraya kadar olan işlem basamakları iki iş günü kadar sürmektedir. Bundan sonra gerçekleştirilecek adım ISO 14253'de belirtilen belirsizlik bütçesinde de görüldüğü gibi 10. Adımdan tekrar başa dönmeyi ve Tip-B yöntemiyle kalibrasyonu gerçekleştiren kişi tarafından hata kaynağının sebebi araştırılması gerekti. Bu kaynağın bulunması yaklaşık yarım iş günü kadar sürdü.

İşlem prosedüründen de anlaşıldığı üzere prosedür gerçekleştirirken işlemin yolunda gidip gitmediğinin işlemi gerçekleştiren görevli tarafından anlaşılması oldukça güçtür. Çok büyük hata, ses veya benzeri durumlarda ancak teknisyen tarafından işlem durdurulmakta sorun düzeltilmekte ve en baştan prosedüre tekrar başlanmaktadır.

Öneriler

Prosedür optimizasyonu için akıllı sistemler önerilmektedir. Cihazın önceki verilerden bir geçmiş oluşturmak suretiyle ve prosedür esnasında alınan her bir ölçüm değerinin şeffaf kutu yöntemiyle interaktif bir şekilde metrolojistin bilgilendirilmesi prosedürünü gerçekleşme süresini kısaltacağı ve kalibasyon maliyetinin düşürüleceği tespit edilmiştir.(37,38)Ayrıca Markov vb akıllı sistemlerle oluşturulacak bir aktif program kalibrasyon işleminde bir sonraki adımlarda oluşabilecek hata değerlerini cihazın geçmişine de bağlı olarak tahmini değerler sayesinde prosedürün takip edilebilirliği artırılır.

Kalibrasyon işlemi oldukça gerekli olmakla birlikte maliyeti olan bir işlemdir. İşlem sırasında hem cihazın kullanılamıyor olması hem de servis firma ücreti ile maliyet oldukça artmaktadır. Kalibrasyon işleminin hem kısa sürmesi hem de güvenilir olması hem kullanıcı tarafından hem de servis veren firmaları için oldukça faydalı olacaktır. İşlem için ayrılan sürenin kısaltılması ve güvenirliğin artması modern çağımızın gelişen teknolojisinin gerekliliklerinden biridir.

KAYNAKLAR

[1] Measurement Quality Division ASQ Jay L. Bucher The Metrology

[2] ISO/IEC 17025, (1999) "General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories"

[3] Preben Howarth, "Metrology in short", first edition 1999, ISBN 87-988154-0-7

[4] Doç.,Dr. İsmail BİNİCİ, " Endüstriyel Ölçme ve Kalibrasyon"

[5] TS EN ISO/IEC 17025, Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar

[6] Ulusal Metroloji Ensitüsü, http://www.ume.tubitak.gov.tr/

[7] Türk Standartları Enstitüsü, http://www.tse.org.tr/Turkish/kalibrasyon/metkalibnedir.asp

[8] Durakbaşa, N.M., (2001), "Ölçme Tekniği ve Kalite Yönetimi" Dersi Bahar Dönemi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Mak. Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

[9] http://www.artibel.com.tr/ISO_9001_belgesi/standart-C9/kalite-belgesi-P1.html, (15.04.2011)

[10] Physical Measurement Laboratory http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/index.html

[11] QUAM 2000:P1 , (2000), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement: Second ASTM 907, (1982). Standart Definitions of Terms Relation to Adhesives, ASTM, Philadelphia.

[12] Numan Durakbaşa, N.M., (2002), "Modern Teknolojik İmalat Sistemlerinde Ölçme Güvensizliği Etkileri", Yıldız Teknik Üniversitesi

[13] Yrd. Doç. Dr. Elif SERTEL, Ölçme Hataları, Hata Hesapları ders notları

[14] Taylor, J. ve Robert, S., (1997), An Introduction to Error Analysis, California University Science Books, California

[15] ISO 3534-2:1993, 1.4.5, Statistics - Vocabulary and symbols - Part 2: Statistical quality control

[16] Alan S. Morris Measurement and Calibration for Quality Assurance

[17] ISO VIM:1993, 2.6 Interational vocabulary of basic and general terms in metrology

[18] ISO, (1995), Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, Geneva (GUM)

[19] ISO 8402:1994 Quality mangement and quality assurance

[20] ISO TS 14253-2, (1999), "Geometrical Product Specifications (GPS)-Inspection by Measurement of Workpieces and Measuring Equipment"

[21] J. A. Bosch, (1995) editor. Coordinate measuring machines and systems. M. Dekker, New York

[22] Osanna, P.H., Yücel, Y.,H., Durakbaşa, M.N., (1995) Koordinatenmesstechnikfür das Qualitaetsmanagement im Productionsbetrieb, Wien, Austria

[23] Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA (1997) Produktdatenaustausch mit Koordinatenmessentechnik und Datenkommunikation', Brno CZ, S 111/118

[24] ISO 10360 Geometrical Product Specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) 1,2,3,4

[25] William T. Silfvast , Laser Fundamentals

[26] H.F.F. Castro (2008) '' Uncertainty analysis of a laser calibration system for positioning accuracy of a numerically controlled axis of coordinate machine and machine tools.''

[27] ISO/TR 14638:1995 Geometrical product specification (GPS) -- Masterplan

[28] ISO/IEC 17025: 1999 standardı (General requirements for the competence testing and calibration laboratories)

[29] Quality Engineering Systems, http://qesnet.com/default.asp?contentID=549

[30] The accurancy cyber market, http://www.orientmachinery.com/orient-product/measuring-equipment.htm

[31] Ni, J. Ve Waldele, F., (1998), 'Coordinate Measuring Machines', Coordinate Measuring Machines and Systems, United States

[32] ITP Group, http://www.itpgroup.co.uk/products/new_cmms/gantry.html

[33] Jera Elektronik, http://www.jera.com.tr/urun/detay.php?id

[34] Feanor, http://www.feanor.com/laser_uk.htm

[35] Aerotech, http://www.aerotech.com/products/engref/intexe.html

[36] Fiber Optics, http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/fiber-optic-test-equipment/

[37] Meifa Huang1,a, Qiaoyi Wang1,b, Yanru Zhong2, Bing Kuang1 and Xiangqian Li1,(2009) On the Flatness Uncertainty Estimation Based on Data Elimination, China.

[38] Jon M. Baldwin, Kim D. Summerhays, Daniel A. Campbell and Richard P. Henke (2007) Application of Simulation Softwareto Coordinate Measurement Uncertainty Evalu ations, USA.

[39] Liang-rong Zhu (2010) Estimation of Uncertainty in Spatial Straightness Measurement According to Next Generation of GPS Standard System, China.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aslı GÜNAY

Doğum Tarihi ve Yeri : 29.04.1987 Malatya

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

E-posta : gunay@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Makine Malzemesi İmalat Teknolojisi	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Makina Mühendisliği İmalat Anabilim Dalı	Trakya Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal	Bahçelievler Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi	2005