

151673

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALİTE YÖNETİMİ SİSTEMLERİ BÜNYESİNDE
ÜRETİM SÜREÇLERİNİN ÖLÇME BELİRSİZLİKLERİ ve
HATA ANALİZLERİ ile KONTROLÜ**

Makina Müh. Serkan Burak YILDIRIM

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Mehmet Emin YURCI
İkinci Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Numan DURAKBAŞA

Prof. M. Emin Yurci
Prof. Nevruzhan Güllükün
Prof. Dr. M. Numan Durakbaşa
Prof. Dr. M. Bulent Durmuşoğlu
Prof. Dr. Hüseyin Başoğlu
İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Değişen Dünya ve Artan Kalite Beklentisi	1
1.2 Kalite Kontrol ve İmalat Proseslerinde Kontrolün Önemi	2
2. ÖLÇMENİN TEMEL KAVRAMLARI	4
2.1 Ölçme İşlemi, Metroloji Bilimi, Hata ve Belirsizlikler	4
2.2 Ölçmenin Güvenilirliğinin Üretim Süreçlerine Etkileri	6
2.3 Ölçme Belirsizlikleri Çalışmalarının Gelişimi	8
2.4 Belirsizlik Temel Kavramları	9
3. BELİRSİZLİKLERİN GÖSTERİLMESİ VE KULLANILMASI	12
4. BELİRSİZLİKLERİN KAYNAKLARI	20
5. BELİRSİZLİKLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	30
5.1 Rastlantısal Hataların İstatistiksel Analizi	30
5.2 Frekans Dağılımları	33
6. ÖLÇME CİHAZLARI ve ÖZELLİKLERİ	39
6.1 Ölçme Cihazları ve Temel Bileşenleri	39
6.2 Ölçme Cihazı Tipleri	40
6.3 Ölçme Cihazlarının Metrolojik Karakteristikleri	43
6.4 Ölçme Cihazının Metrolojik Karakteristiklerinin Standartlaştırılması	45
6.5 Ölçme Cihazları Hatalarının Standartlaştırılması	46
6.6 Ölçme Cihazlarının Dinamik Karakteristiklerinin Sınıflandırılması	47
7. GUM'A GÖRE BELİRSİZLİKLERİN SAPTANMASI	48
7.1 GUM'un Amacı ve Kapsamı	48
7.2 Belirsizliklerin Saptanmasında GUM'un Temel Kavramları	49
7.3 Belirsizlik Yönetimi Prosedürü (Procedure of Uncertainty Management, PUMA)	50
7.3.1 Verilmiş Ölçme Prosesi İçin Ölçme Belirsizliği Yönetimi	50

7.3.2	Ölçme Prosesi/Prosedürünün Gelişmesi ve Dizaynı İçin Belirsizlik Yönetimi	52
7.4	Belirsizlik Bileşenleri, Standart Belirsizlik ve Genişletilmiş Belirsizliği Saptama	54
7.4.1	Belirsizlik Bileşenleri İçin A tipi değerlendirme.....	55
7.4.1.1	İstatistiksel Gereçler	55
7.4.2	Belirsizlik Bileşenleri İçin B Tipi Değerlendirme.....	56
7.4.2.1	Hata Limitleri İçin Dönüşüm Gereçleri.....	56
7.4.3	A ve B Tipi Değerlendirmeler İçin Tipik Örnekler.....	58
7.4.4	Doğrudan Ölçme ve Dolaylı Ölçme Modelleri ile Belirsizlik Değerlendirmesi ...	60
7.4.5	Direkt Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması-Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi	61
7.4.6	Dolaylı Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması – Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi	62
7.4.7	Birleşik Standart Belirsizlikten Genişletilmiş Belirsizliğin Saptanması	63
7.4.8	Ölçme Belirsizliği Parametrelerinin Doğası.....	63
8.	PRATİK BELİRSİZLİK DEĞERLENDİRMESİ – PUMA ile BELİRSİZLİK BÜTÇESİ OLUŞTURULMASI.....	64
8.1	Belirsizlik Raporu Ön Şartları	64
8.2	Belirsizlik Bütçesi Oluşturmanın Standart Prosedürü	65
8.3	Prosedürün Uygulanması.....	67
8.3.1	Belgeleme ve Belirsizlik Değerinin Saptanması	68
8.3.2	Ölçme ve Kalibrasyon Prosesinin Dizaynı ve Belgelenmesi	68
8.3.3	Kalibrasyon Hiyerarşisinin Dizaynı, Optimizasyonu ve Belgelenmesi	69
8.3.4	Yeni Ölçme Cihazının Dizaynı ve Belgelenmesi	70
9.	ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	72
9.1	İlk Modern Belirsizlik Modeli	72
9.2	ASME'nin Modern Ölçme Belirsizliği Modeli	74
9.3	ASME'nin Gelişmiş Modeli	75
9.4	ISO'nun Belirsizlik Modeli	76
10.	BELİRSİZLİK AZALTMA ÇALIŞMALARI VE KALİBRASYON	78
10.1	Ölçme Cihazlarında Kalibrasyonun Önemi ve Kalibrasyon Yöntemleri	78
10.2	Kalibrasyon Prosesleri ve Prosedürleri.....	79
10.3	Standart Laboratuvarlar	82
10.4	İş Ortamının Belgelenmesi	84
10.5	Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi	85
10.6	Akıllı Ölçme Cihazları Kullanılarak Belirsizliklerin Azaltılması	87
10.7	Modern Ölçme Cihazlarında Belirsizlikler ve Kalibrasyon	89
11.	HATA ANALİZLERİ	93
11.1	Hata Analizlerinin Gerekliliği	93
11.2	Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis, (FMEA).....	94
11.2.1	FMEA Kapsamı ve Özellikleri	94
11.2.2	FMEA'in Amacı ve Sonuçları	96
11.2.3	FMEA Programı Yürütücüleri ve Sorumluları	97
11.2.4	Tasarım ve Proses için FMEA.....	98
11.2.4.1	Tasarım FMEA (Design FMEA, DFMEA)	98
11.2.4.2	Proses FMEA (Process FMEA, PFMEA)	99

11.2.5	Blok Diyagramı	100
11.2.6	FMEA Araçları	107
11.2.7	FMEA Yazılımları	108
12.	UYGULAMA	111
12.1	Otomotiv Sanayinde Standartlar	111
12.1.1	Otomotiv Sanayinde Kullanılan Standartlar ve Gelişimleri	111
12.1.2	ISO TS 16949'un Getirdiği Yenilikler ve Faydaları	113
12.2	GUM'a Göre Belirsizlik Bütçesi Oluşturulması	114
12.2.1	0.01 mm'lik Dijital Kumpasın Başlangıç Hatasının Bulunması	114
12.2.2	0.02 mm'lik Analog Kumpasın Başlangıç Hatasının Bulunması	119
12.2.3	Dijital Mikrometrenin Başlangıç Hatasının Saptanması	123
12.2.4	Komparatörlü Mikrometrenin Başlangıç Hatasının Bulunması	128
12.2.5	Komparatörlü Mikrometre ile 33.91-34.09'lik Yanma Odası Masterının Kontrolünün Belirsizliği	133
12.2.6	Komparatörlü Mikrometre ile 39.9-40.1'lik Yanma Odası Masterının Kontrolünün Belirsizliği	138
12.2.7	Pistonun Kaba Delik Kontrolünün Belirsizliği	145
12.2.8	Pistonun Ra Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesinin Belirsizliği	151
12.2.9	Pistonun Rz Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesinin Belirsizliği	157
13.	SONUÇLAR	163
	KAYNAKLAR	167
	ÖZGEÇMİŞ	170

SİMGE LİSTESİ

a	Dağılım için limit değer
a_{xx}	Hata veya belirsizlik etkeni için limit değer
α	Isıl genleşme katsayısı
b	a_{xx} ve u_{xx} için dönüşüm katsayısı
C	Düzeltilme
d	Ölçme cihazının çözünürlüğü
E	Elastiklik modülü
ER	Hata
G	Ölçüm sonuçlarının fonksiyonu
h	Histerisis değeri
k	Güvenlik faktörü
m	Güvence aralığının yarısındaki standart sapmaların sayısı
MR	Ölçüm sonucu
n	Herhangi bir niceliğin sayısı
N	İterasyonların sayısı
ν	Poisson sayısı
p	Birbirlerinden bağımsız belirsizlik etkenlerinin sayısı
r	Birbirleriyle ilişkili belirsizlik etkenlerinin sayısı
ρ	Düzeltilme katsayısı
TV	Ölçümün gerçek değeri
u, u_i	Standart belirsizlik
s_x	Numunenin standart sapması
$s_{\bar{x}}$	Numunenin standart sapmasının ortalama değeri
u_c	Birleşik standart belirsizlik
u_{xx}	XX numaralı belirsizlik etkeninin standart sapması
U	Ölçümün genişletilmiş belirsizliği
U_A	Ölçümün gerçek belirsizliği
U_C	Ölçümün konvansiyonel gerçek belirsizliği
U_E	Ölçümün yaklaşık belirsizliği
U_{EN}	N sayıdaki iterasyonun yaklaşık belirsizliği
U_R	Gerekli belirsizlik
U_T	Hedef belirsizlik
U_V	Belirsizlik değeri
X	Ölçüm sonucu (düzeltilmemiş)
X_i	Dolaylı ölçme metodunda ölçüm sonucu
Y	Ölçüm sonucu (düzeltilmiş)

KISALTMA LİSTESİ

ISO	International Organization for Standardization
ANSI	American National Standards Institute
ASQC	American Society of Quality Control
BSI	British Standardization Institute
DIN	Deutsches Institut für Normung
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CIPM	Comite International des Poids et Mesures
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
GUM	Guide to Expression of Uncertainty in Measurement
PUMA	Procedure of Uncertainty Management
CMM	Coordinate Measuring Machine
GPS	Geometrical Product Specifications
GMÖ	Geometrik Mamul Özellikleri
TS	Technical Specification
AIAG	Automotive Industry Action Group
VDA	Verband der Automobil Industrie
IATF	The International Automotive Task Force
CCFA	Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
FIEV	Fédération des Industries des Equipements pour Véhicules
ANFIA	Associazione Nazionale Fra Industrie Automobilistiche
ASME	American Society of Mechanical Engineering
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Metrolojinin kapsamı	5
Şekil 2.2 Ölçme belirsizliklerinin tolerans alanında muhtelif dağılımları	7
Şekil 3.1 Belirsizlik bölgesi	12
Şekil 3.2 İki direnç değeri için belirsizlik bölgelerinin gösterilmesi	14
Şekil 3.3 Çeşitli belirsizlik aralıklarının gösterilmesi	14
Şekil 3.4 Toleranslar ve belirsizliklerin ölçüm sonucuna etkisi	15
Şekil 3.5 Üst kontrol limitine göre belirsizlik aralıklarının konumu	16
Şekil 3.6 Verilerin grafikte gösterilmesi	19
Şekil 4.1 Rastlantısal ve sistematik hataların etkileri	21
Şekil 4.2 Ölçme hatalarının sınıflandırılması	24
Şekil 4.3 Ölçme belirsizlikleri temel etkenleri	25
Şekil 5.1 Rastlantısal ve sistematik hataların doğal yayılımı	30
Şekil 5.2 Histogram grafiği	33
Şekil 5.3 Normal dağılım	34
Şekil 5.4 Verilere göre eğrinin form değişimi	35
Şekil 5.5 Standart sapmaya göre eğrinin değişimi	35
Şekil 5.6 $x=X$ noktasına göre çan eğrisi	36
Şekil 5.7 Standart sapmanın katlarının toplam alandaki oranları	37
Şekil 5.8 Standart sapmanın katlarının bütüne göre yüzdelik oranları	38
Şekil 6.1 Dijital mikrometre	40
Şekil 6.2 Analog ve dijital kumpas	41
Şekil 6.3 Köprü tipi koordinat ölçme cihazı	42
Şekil 6.4 Optik projektör	42
Şekil 6.5 Ölçme cihazında sürüklenme ve histerisis hatası	44
Şekil 7.1 Verilmiş proses için ölçme belirsizliği yöntemi	51
Şekil 7.2 PUMA prosedürü	53
Şekil 7.3 Normal dağılım, dikdörtgen dağılım ve U dağılım	57
Şekil 8.1 Ölçmenin üç elemanının modeli	64
Şekil 8.2 Belirsizlik bütçesinin ekipman, kalibrasyon veya ölçme standartlarıyla ilişkileri....	71
Şekil 10.1 Standart zinciri	83
Şekil 10.2 Mikrometre için kalibrasyon zinciri	84
Şekil 10.3 Standart adım bloklarıyla kalibre edilen bir CMM	90
Şekil 10.4 CMM kalibrasyon prosesleri	91
Şekil 11.1 FMEA'in imalat prosesine etkisi	96
Şekil 11.2 FMEA ekipleri	98
Şekil 11.3 Dizayn FMEA blok diyagramı	101
Şekil 11.4 Proses FMEA blok diyagramı örneği	106
Şekil 11.5 Pareto analizi	107
Şekil 11.6 ISP FMEA yazılımı arayüzü	109
Şekil 11.7 TDC FMEA arayüzü	110
Şekil 12.1 ISO/TS 16949'un hiyerarşisi	112
Şekil 12.2 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	116
Şekil 12.3 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	120
Şekil 12.4 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	125
Şekil 12.5 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	130
Şekil 12.6 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	134
Şekil 12.7 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	140
Şekil 12.8 Tolerans ve belirsizlik bölgelerinin kesişimi.....	144
Şekil 12.9 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	147

Şekil 12.10 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	152
Şekil 12.11 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi	158



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Standart bir numune için gerilim-gerinim ölçüm sonuçları	18
Çizelge 5.1 Standart sapmaların bütüne göre yüzdelik oranları	38
Çizelge 7.1 %95 güvenlik katsayısıyla Studen's t değeri	55
Çizelge 7.2 Ölçüm sayısına göre h güvenlik katsayısı	55
Çizelge 8.1 Belirsizlik bileşenlerinin belirsizlik bütçesinde isimlendirilmesi ve genel tanıtımı	66
Çizelge 8.2 Belirsizlik bütçesi özet bilgi çizelgesi örneği	67
Çizelge 10.1 Kabul edilebilir kalibrasyon peryotları listesi	87
Çizelge 11.1 Şiddet Değerlendirmesi	103
Çizelge 11.2 Hatanın kendini tekrarlaması değerlendirilmesi	104
Çizelge 11.3 Hatanın saptanabilme değerlendirilmesi	104
Çizelge 12.1 0.01 mm'lik dijital kumpasla yapılan ölçme sonuçları	115
Çizelge 12.2 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	116
Çizelge 12.3 Belirsizlik bütçesi özeti	118
Çizelge 12.4 0.02 mm'lik analog kumpasla yapılan ölçme sonuçları	119
Çizelge 12.5 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	121
Çizelge 12.6 Belirsizlik bütçesi özeti	123
Çizelge 12.7 1µm'lik dijital mikrometre ile yapılan ölçme sonuçları	124
Çizelge 12.8 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	125
Çizelge 12.9 Belirsizlik bütçesi özeti	127
Çizelge 12.10 1µm'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları	128
Çizelge 12.11 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	130
Çizelge 12.12 Belirsizlik bütçesi özeti	132
Çizelge 12.13 1µm'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları	133
Çizelge 12.14 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	135
Çizelge 12.15 Belirsizlik bütçesi özeti	138
Çizelge 12.16 1µm'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları	139
Çizelge 12.17 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	140
Çizelge 12.18 Belirsizlik bütçesi özeti	143
Çizelge 12.19 Belirsizlik bütçesinde baskın bileşenlerin saptanması	145
Çizelge 12.20 0.01 mm'lik kumpasla kaba delik çapı ölçme sonuçları	146
Çizelge 12.21 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	147
Çizelge 12.22 Belirsizlik bütçesi özeti	150
Çizelge 12.23 Ra değerleri ölçme sonuçları	151
Çizelge 12.24 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	154
Çizelge 12.25 Belirsizlik bütçesi özeti	156
Çizelge 12.26 Rz değerleri ölçme sonuçları	157
Çizelge 12.27 Belirsizlik bileşenlerinin listesi	159
Çizelge 12.28 Belirsizlik bütçesi özeti	161

ÖNSÖZ

Modern imalat sistemleri bünyesinde yüksek verimlerle çalışmak, %100 müşteri tatmini sağlamak bununla birlikte ürünü, prosesi sürekli geliştirmek bir zorunluluk haline gelmiştir. İmalat bantlarından çıkan ürünlerin tamamının gerekli spesifikasyonları sağladığını garanti etmek üretim süreçleri üzerinde tam bir hakimiyet gerektirmektedir. Hazırlamış olduğum, “Kalite Yönetimi Sistemleri Bünyesinde Üretim Süreçlerinin Ölçme Belirsizlikleri ve Hata Analiz Programlarıyla Kontrolü” konulu yüksek lisans tez çalışmasının, bu hakimiyet üzerine bir bilgi birikimi, ön basamak oluşturacağı inancındayım.

Yüksek lisans eğitimimin, gerek ders gerekse tez aşamasında danışmanlığımı yürüten, çalışmalarına bilgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanlarım Sayın Prof. Mehmet Emin YURCİ ve Prof. Dr. M. Numan DURAKBAŞA 'ya teşekkürü bir borç bilmekteyim. Bununla birlikte deneysel çalışmalarına malzeme, ekipman ve literatür olarak katkıda bulunan Mercedes-Benz Türk AŞ'den Didem BARAN 'a, PARSAT Piston Dağıtım Ticaret Sanayi Anonim Şirketi'nden Güray ALKAN ve Ali TOPAL 'a teşekkürlerimi sunarım. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojileri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Yard. Doç. Can KARAHASANOĞLU ve mesai arkadaşlarım Araştırma Görevlileri Anıl AKDOĞAN, Tolga MERT, Uğur AKBULUT ve Günhan ERHUY 'a bilgi, tecrübe ve destekleri için teşekkür etmeyi bir görev bilmekteyim.

En zor zamanlarımda yanımda olan, annem Nihal YILDIRIM başta olmak üzere tüm aileme, çok uzaklarda olduğu dönemlerde bile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, daima sevgisinden destek bulduğum nişanlım Johanny Vanessa REYES MEDINA 'ya teşekkür ederim.

ÖZET

Günümüzde kalite yönetimi sistemleri imalat proseslerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Endüstrinin ihtiyaçlarının sürekli olarak artmasıyla imalatçıların sorumlulukları da artmaktadır. Bu imalatçıları tasarım ve üretim süreçlerini sürekli olarak geliştirmek zorunda bırakmıştır. Mamullerinin müşteri gereksinimlerine %100 uyum gösterdiğini garanti etmek kolay bir görev değildir. Bunu sağlamak için İmalat ve mamullerin sürekli olarak geliştirilmesi ve mükemmel bir proses kontrol sistemi oluşturmak gerekmektedir.

Yapılan bu tez çalışması iki ana konu üzerinde yoğunlaşmıştır. İlk olarak kalibrasyon ve imalattaki ölçme belirsizliklerinin tanımlanması, değerlendirilmesi ve belgelenmesi ile üretimin kontrolü işlenmiştir. Ölçme belirsizlikleri imalat proseslerini dolaylı ve/veya dolaysız olarak etkilemekte olup, kusursuz bir proses kontrolü için bunların titizlikle incelenmesi gerekmektedir. Bu sebeple otomotiv endüstrisinde, piston imalatındaki ölçme belirsizliklerinin değerlendirilmesi, analizi, azaltılma çalışmaları ve belgelenmesi tez çalışmasının uygulaması olarak seçilmiş ve gerçekleştirilmiştir. İkinci başlık Hata Türü ve Etkisi Analizleri (FMEA) ile ürün ve imalat proseslerinin sürekli olarak geliştirilmesidir. FMEA imalat veya ürünün tasarım veya imalat prosesinde meydana gelebilecek hataların henüz ortaya çıkmadan tanımlandığı, değerlendirildiği, analiz edildiği ve önlemlerin oluşturulduğu bir kalite aracıdır. Bu kısımda otomotiv endüstrisinin, imalatın her seviyesinde sistematik bir beyin fırtınası çalışmasına gereksinim duyduğu gösterilmiştir.

Ölçme belirsizliklerinin etkileri kalibrasyon ve imalat hatlarındaki bazı prosesler için incelenmiştir. Güvenilirlik seviyesi belli olmayan bir ölçme sonucundan hiçbir geçerli yorum yapılamayacağı kanıtlanmıştır. Sonuç olarak ölçme proseslerinin analiz edilmesi, belirsizliklerin değerlendirilmesi ve tüm bu operasyonların uluslararası standartlara uygun biçimde belgelenmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Ölçme belirsizlikleri, Hata Türü ve Etkileri Analizi, üretimin kontrolü, belirsizlik bütçesi, ölçme belirsizliklerinin ifadesi rehberi (GUM), modern ölçme cihazları.

ABSTRACT

Nowadays quality management systems have become an inseparable part of manufacturing processes. Responsibilities of manufacturers increase as needs of industry continuously increase. That forces manufacturers to upgrade the design, process and production constantly. Guarantying their product maintains 100 % compatibility to customer requirements which is not an easy task. It demands continuously improvement of product and process, as well as an impeccable process control system.

This study was based on two main topics. Firstly production control by defining, estimating and reporting measurement uncertainties on calibration and manufacturing processes were examined. Since measurement uncertainties affects manufacturing processes directly and/or indirectly, they should be well studied for a perfect process control. Therefore estimating, analyzing, reducing and reporting measurement uncertainties at piston manufacturing in automotive industry was selected for the application of this thesis and studied. Second topic is continuously improving of product and manufacturing process with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). FMEA is a quality tool which provides defining, estimating, analyzing and taking precautions against errors on product design or manufacturing process before their appearance. In this section, it was discussed that automotive industry demands a systematic brain storm study in all levels of manufacturing.

The effects of measurement uncertainties on manufacturing and calibration levels were studied on several different processes. It was proved that a measurement result whose confidence level is not assigned has no definite interpretation. As a result measurement processes should be analyzed, uncertainties should be estimated and all operation should be reported according to the international standards.

Keywords: Measurement uncertainties, Failure Mode and Effect Analysis, production control, uncertainty budget, Guide to Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), modern measuring machines

1. GİRİŞ

1.1 Değişen Dünya ve Artan Kalite Beklentisi

Çağımızda iktisadi ve teknolojik gelişim, kalitenin endüstriyel alanda ivme kazanarak yükselmesi ile çok yakından ilgili olmaktadır. mamulün kalitesi, imalatın devamlılığı, ritmini, çerçevesini, çalışma verimliliğini, ürünlerin kullanımlarında ve sarf edilmelerinde kullanışlı olmalarını değişik şekillerde etkilemektedir. Yüksek ürün kalitesi, toplumda giderek artan ihtiyaçların karşılanmasına, uluslararası alanda işbirliğinin kararlı hale gelmesine ve genişletilmesine, ürünlerin ihraç edilebilirlik yeteneklerinin yükseltilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Tüm dünyada gelişen rekabet ortamında kalite, işletmenin fonksiyonlarından biri olmaktan çıkmış, rekabette stratejik bir araç haline gelmiştir. İkinci dünya savaşından sonra sanayideki gelişmeler, yüksek imalat maliyetleri, düşük kar oranları, rekabetçi piyasalar ve yeni teknolojilerin kullanılmaları kalite konusunda da yeni arayışları beraberinde getirmiştir. Bu yüzden sadece üretim miktarlarıyla kendini yönlendiren işletmeler, üretimin kalitesiyle de ilgilenmek ve kalite kontrolü ile hataları tespit etmek yerine, hataları önlemek gereğiyle karşı karşıya kalmışlardır. Bütün bu gelişmelere karşın kalite kontrolü, günümüzde önceden olduğu gibi kaliteyi güvence altına almaktaki önemli rolünü oynamaya devam etmektedir ve ilerde de edeceği şüphesizdir. Rekabetin ana hedefi müşteridir. Müşteriyi ele geçiren, tatmin eden ve elinde tutan kuruluşlar rekabette başarılıdırlar. Yeni kalite anlayışı iki kavram üzerine kurulmuştur (Durakbaşa, 2001):

- Kalite Geliştirme
- Sürekli Gelişme

Müşteri tatmini için üç temel aktivite vardır. Bunlar kalite yönetimi, kalite kontrol ve kalite güvencesidir. 2000 yılı sonlarında yayınlanan ISO 9000:2000 standardında kalite yönetimi terimi “Kalite sistemi içerisinde kalite ihtiyaçlarının tümünü karşılayabilecek, gerekli güveni veren, uygulanmış olan, gerektiğinde gösterilebilen tüm planlı ve sistematik aktiviteler” olarak tanımlanmaktadır. Bu aktiviteler, oluşturulmuş kalite kontrol sistemlerinin ve prosedürlerinin tamamlanması, sistemin verimliliğinin incelenmesi ve geri beslemesinin idaresi olmaktadır. Aktiviteler; ürün, proses, sistem veya kişi olabilmektedir. Bu tanıma göre kalite yönetimi müşterinin hatalı bir ürün almamasını garanti etmektedir. Kalite yönetimi, ürünlerin üretim sonrası hatalı olanlarının tespit edilmelerini değil, tüm üretim prosesini kontrol etmek durumundadır. Başka bir deyişle muayene yoluyla değil, sistem yolu ile kalite

güvencesi sağlanmaktadır. Kalite yönetimi sistemlerinde prosesin kontrol altında tutulması ve ilgili ürün parametrelerine olan uygunluğun garanti edilmesi ile bir yandan müşteri beklentilerinin karşılanması, diğer yandan da ekonomik üretim sağlanmış olacaktır. Kalite kontrolü, kalite yönetiminin kalite taleplerinin yerine getirilmesine odaklanan bir bölümdür. Bunu gerçekleştirmek için belirli programlar ve teknik operasyonlar yürütülmektedir. Kalite güvencesi, kalite sisteminde kalite taleplerinin yerine getirilmesine yönelik güvenin sağlanmasına odaklanan kısımdır. Küreselleşme süreci içinde dünya piyasalarına açılma amacındaki her işletme beklenen kalite güvencesi sistemini uygulamak zorundadır. Belgeleme de bu sebeple kalite yönetiminin önemli bir parçası olmaktadır. Kalite kontrolü ve yönetimi için tüm prosedürler burada anlatılmaktadır (Alan, 1991; Durakbaşı, 2001).

Günümüzde ISO 9000 serisi standartları olarak adlandırılan kalite standartları serisi, tüm Avrupa'da ve Dünya'da doksandan fazla ülke tarafından benimsenerek kabul edilmiştir. ABD'de ANSI/ASQC-QB, İngiltere'de BS5750, Almanya'da DIN ISO 9000 ve Türkiye'de TS ISO 9000 ulusal standartlar olarak kullanılmaktadırlar. Avrupa Standartlar Komitesi (CEN ve CENELEC) bu standartları Avrupa Normu EN ISO 9000 olarak kabul etmiştir. Bu standartlar hem kalite kontrol, hem de kalite güvencesinin anahtar elemanlarını içermekte olup; aynı zamanda üretim ve hizmet sektöründe kalite yönetimi için hazırlanmış, büyük kapsamlı bir standartlar kümesidir. Bir organizasyonu kalite ile ilgili olarak yöneten ve kontrol eden sisteme kalite yönetim sistemi adı verilir. Bir işletmenin kalite sistemini geliştirmesi, belgelendirilmesi ve çalıştırılması bu standartlar serisi tarafından talep edilmektedir. Buna göre işletme içinde yönetimin, kalite tetkik uygulamaları için sahip olduğu sorumluluktan, satın alma politikalarına ve eğitime kadar uzanan kalite yönetimi uygulamalarının tümü bu standartların faaliyet alanı içerisinde (Durakbaşı, 2001).

1.2 Kalite Kontrol ve İmalat Proseslerinde Kontrolün Önemi

Ürün kalitesinin ve kontrolünün yüksek standartları bir işletmenin uluslararası pazardaki yerini saptamada çok önemli bir faktördür. Bu hedefe ulaşmak için ürün kalite kontrol sistemi oluşturmak ve gerekli standartları karşılayacak danışmanlık hizmetlerinin, teknik ağı sağlanması, bu ağı tüm imalat proseslerini tanımlaması gerekmektedir. Kalite kontrol sistemini oluşturmak için öncelikle müşteri ihtiyaçlarını ve gereksinimlerini belirlemek, buna göre bir plan oluşturmak gerekmektedir. Müşterinin talep ettiği kalite sınırlarına ulaşmak belli maliyet değerleri çıkarmaktadır. Müşteri ihtiyaçlarını minimum düzeyde karşılayabilecek kabul edilebilir kalite sınırlarına ulaşmanın en kısa yolu, yayınlanmış standartlardan,

imalatçılar tarafından tanımlanmış standartlardan veya referanslardan faydalanmaktadır. Bu seviyenin ötesinde kalite gelişimi sağlamak imalatçıya ürün satış avantajları sağlamaktadır. Ayrıca sistem işlemeye başladıktan sonra sistem-kalite verilerinin sürekli incelenip imalat prosesindeki verimliliğin ve sistemin güncelliğinin kontrolü bir zorunluluk olmaktadır. Belgelemesi yapılmış, pratikte uygulanmayan, yalnızca formalite icabı yapılan rafta duran bir kalite sistemi işletmeye büyük zarar vermektedir. İşletme hem kalite sisteminin getirilerinden faydalanamamaktadır hem de kullanımı olmayan bir sistemin gelişimi için yoğun işgücü ve para harcanmıştır (Alan, 1991).

Bugün, kalite güvencesi kavramı tam anlamıyla ön plana çıkmış, prosese hakimiyet göz ardı edilemeyecek bir faktör halini almıştır. Özellikle kütle ve seri imalat ile üretim hatları artmış üretimi kontrol altına almak iyice zorlaşmış, proses hakimiyeti için özel çalışmalara gereksinim duyulmuştur. Sonuç olarak kalite gereksinimlerini yerine getirmek için üretim süreçleri üzerinde tam bir kontrol sağlamak gerekmektedir. Gerek üretim bantlarında sürekli muayene ve istatistiksel çalışmalarla, gerekse üretim öncesi dizayn aşamasında ve üretim süresince yapılan analiz, simülasyon vb. çalışmalarla gereksinimleri karşılayacak ölçüde proses kontrolü elde etmek mümkündür.

Yapılan bu çalışma üretim süreçlerinin ölçme belirsizlikleri ve hata analizleri ile kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır. Muayene ve istatistiksel tekniklerin bulunduğu her çalışmada, sayısız ölçme işleminin prosesi etkileyen önemli bir faktör haline geldiği açıktır. Ölçme belirsizlikleri ise ölçme işleminin güvenilirlik derecesini tanımlayan en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda ölçme belirsizliklerinin saptanması, kontrol altına alınması ve belgelenmesi üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Bununla birlikte ölçme belirsizliklerinin ölçme sonuçları ve ölçümün güvenilirliğine etkileri daha iyi anlaşılmıştır. Hata analizi çalışmaları ise sürekli iyileştirme politikasıyla birlikte kalite sistemlerinin dolayısıyla imalat proseslerinin ayrılmaz parçalarıdır. Modern kalite sistemleri çerçevesinde ürün ve proses, yeni teknolojiler geliştirme, imalat yöntemleri oluşturma, müşteri memnuniyetini artırma gibi ana noktalarda düğümlenmektedir. Endüstrinin lokomotif kuruluşları kendi bünyelerinde başlattıkları hata analizi çalışmalarıyla mamul ve proses kalitelerini büyük ölçüde arttırmışlar, birçok olası hatanın çözümünü tasarım aşamasında gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların getirilerinin büyüklüğü sebebi ile tedarikçilerinin de aynı çalışmaları kalite yönetim sistemi çerçevesinde gerçekleştirmelerini istemişlerdir. Önceleri standartlarda bir tavsiye olarak gözüken ölçme belirsizliklerinin belgelenmesi ve hata analizleri çalışmaları güncel standartlarda temel bir gereksinim halini almıştır.

2. ÖLÇMENİN TEMEL KAVRAMLARI

2.1 Ölçme İşlemi, Metroloji Bilimi, Hata ve Belirsizlikler

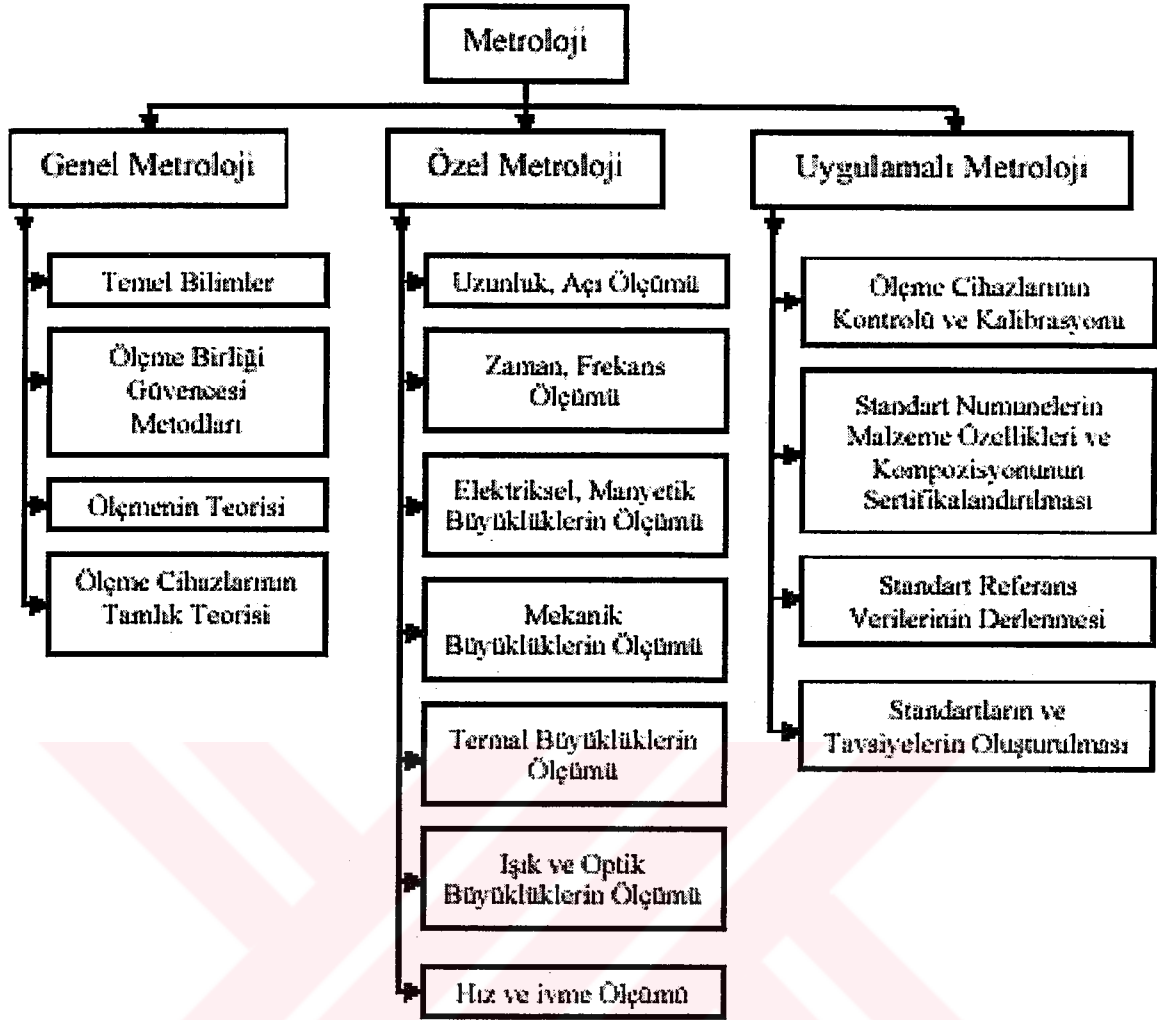
Ölçme işlemleri üretim sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Öncelikle, yalnızca imalat proseslerinde basit ölçümler yapılırken bugün gereken şartlarda %100 kontrole dahi gidilebilmektedir. Ancak özellikle seri imalatta tüm mamullerin kontrolü işlemi ekonomiklikten büyük ölçüde uzaklaştıracağından %100 muayenenin ancak zorunlu hallerde, hayati önem taşıyan, nükleer sanayi mamullerinde, hava sanayinin bazı mamullerinde vb. uygulamalarda yapılması zorunlu olmaktadır. Ancak böyle durumlarda da istatistiksel yöntemler kullanılarak imal edilen parça miktarıyla orantılı rakamlarda numunelerle kontrol yoluna gidilmektedir. Kontrol işlemleri tamamen ölçme verileri üzerine yapılmaktadır.

Ölçme işlemi, özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra, elektronik teknolojinin gelişmesiyle yalnızca imalat proseslerinin ve ticaretin parçası olmaktan çıkmış bilgi toplamanın gerçek manası haline gelmiş, bilimin önemli bir kolu olmuştur. Hangi bilim dalında veya teknik dalda ve hangi hassasiyette olursa olsun hem teorik hem pratik ölçmenin tüm yollarını kapsayan bilim dalına Metroloji denilmektedir. Metrolojinin kapsamı basitçe Şekil 2.1'de gösterilmektedir (ISO, 1993).

ISO'nun Uluslararası Basit ve Genel Metroloji Terimleri Sözlüğü'nde ölçme, ölçme cihazları olarak tanımlanan özel teknik cihazlar yardımıyla fiziksel bir niceliğin değerini belirleme prosesi olarak tanımlanmıştır. Ölçme sonucu ise, fiziksel bir büyüklüğün benzer nicelikler için oluşturulmuş birimler cinsinden nümerik değerlerle tanımlanmasıdır. Bu tanımlamalar ışığında ölçmenin şu temel özelliklerinden bahsetmek mümkündür.

- Ölçme sonucu daima kabul edilmiş somut birimlerle tanımlanmalıdır. Ölçmenin amacı herhangi bir objenin bir özelliğini sayısallaştırmaktır.
- Ölçme işlemi daima birtakım ölçme cihazları yardımıyla yapılmaktadır.
- Ölçme işlemi daima deneysel bir prosestir (ISO, 1993; Semson, 2000).

Fiziğin değişmez bir kuralı olarak, nasıl imal edilen bir iş parçası hiçbir zaman tasarım aşamasında belirlenmiş boyutlarını tam manasıyla sağlayamazsa, ne kadar hassas bir ölçme cihazı kullanılırsa kullanılsın fiziksel bir büyüklüğün gerçek değerini saptamak da mümkün değildir. Ölçmenin gerçek değeri, objenin bilinen ve ideal olarak yansıtılmış fiziksel ölçüm değeridir. Pratik olarak gerçek ölçme değerine ulaşmak mümkün değildir. Burada ölçme hatası ve belirsizlik kavramları ortaya çıkmaktadır (Semson, 2000).



Şekil 2.1 Metrolojinin kapsamı (Semson, 2000)

Ölçme hatası, ölçme sonucunun ölçülebilecek gerçek sonuçtan yaptığı sapmadır. Mutlak veya bağıl hata olarak ifade edilmektedir. Mutlak hata basitçe, objenin ölçülen değerinin gerçek değerden farkı olarak tanımlanmaktadır. Negatif ya da pozitif bir değer olabileceği gibi bir aralıkla da ifade edilebilir. Ölçüm değeriyle aynı birimde olmaktadır. Bağıl hata ise hatanın objenin gerçek değerine oranıdır. Ölçme işleminin amacı, bilinmeyen bir niceliğin fiziksel değerini saptamaktır. Bu sebeple pratik bir uygulamada gerçek ölçme değerinin bilinmesi mümkün olamamaktadır (Semson, 2000).

Belirsizlik, ölçmenin gerçek değerini de içeren bir aralığı karakterize etmektedir. Ölçme işlemi için belirlediğimiz bir tolerans değeri olarak da düşünülebilmektedir. Hata ve belirsizlik kavramlarını birbirinden ayırmak bu aşamada önemlidir. Hata ölçülen niceliğin gerçek değeri ile ölçüm sonucu arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda hata tek

bir değerdir ve prensipte hata bir düzeltme faktörüyle sonuca etki etmektedir. Ayrıca hatanın tam değeriyle hesaplanması da normal şartlar altında mümkün olamamaktadır. Belirsizlik ise bir aralık olarak karşımıza çıkar ve genel olarak lme belirsizliği ölüm sonucunu düzeltmek için kullanılmaz. Herhangi bir lme işleminden sonra yapılan bir analiz ve bunun sonucuyla lme sonucunda yapılabilecek bir düzeltme ile lmdeki hata faktörü çok küçük değerlere indirilebilmektedir. Ancak belirsizlik sınırları hala büyük olabilir ve bu durumda lme sonucunun gerçek değere yakınlığından emin olunamamaktadır. Bir lme sonucunun belirsizliği hata değerinin bulunması veya düzeltme işleminden sonraki hata değerinin tespiti ile yorumlanamamaktadır (QUAM 2000:P1 , 2000).

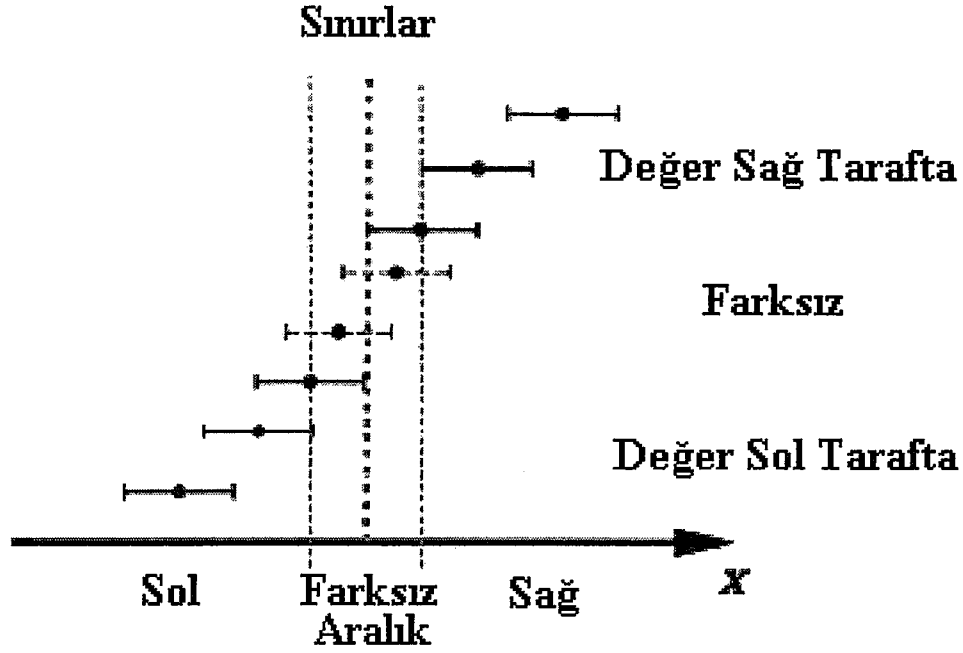
2.2 Ölçmenin Güvenilirliğinin retim Süreçlerine Etkileri

İleri teknolojik üretimde ekonomik ve kaliteli üretim en önemli ve vazgeçilmez unsurlarından birini oluşturan modern lme sistemlerinin üretime entegrasyonu ile, imalat teknolojisinin gereksinimleri doğrultusunda, süreçlerin denetimi, kontrolü ve yönlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Ölüm sonuçlarının belirsizlikleri neticelerin kusursuz ve tam olmalarını engellemektedir (Durakbaşa, 2002).

lme sonuçlarının güvenilirliğine giderek artan ihtiyaç lme sistemlerindeki toplam belirsizliklerin titizlikle analiz edilmesini bir zorunluluk haline getirmiştir. lme belirsizliği kavramı bir fiziksel ölüm değerinin alabileceği uygun değerleri gösteren bir parametredir. Bu parametre bir standart sapma değeri veya direkt belirlenmiş bir aralık biçiminde tanımlanabilmektedir. Başka bir deyişle, lme belirsizliğinin bir lmdeki genel şüphe değeri olduğu söylenebilir. Ancak lme belirsizliği olması ölümün güvenilirliğini azaltmamaktadır. Aksine hiçbir ölümde gerçek ölüm değerini bulmak mümkün olmadığı için doğru belirlenmiş bir lme belirsizliği ölümün güvenilirliğini arttırır, üzerine yorum yapılabilmesini sağlar. Güvenilirlik derecesi bilinmeyen bir ölüm sonucundan yola çıkılarak hiçbir kararlı yorum yapılamamaktadır (QUAM 2000:P1 , 2000; Schneider, 1962).

lme değerlerinden süreçlerle ilgili doğrudan sonuçlar çıkartabilmek için proses bazında değerlerin yeterli tamlıkta elde edilmiş olmalarını bilmek önemlidir. Önceleri bir lme cihazının yeterliliği standartlarda belirtilen en düşük değerlerle lme aleti üreticilerinin verilerinin karşılaştırılması ile yapılmaktaydı. Daha düzenli bir çalışma için ise, en yüksek sapma aralığı, tekrarlanabilirlik, lme güvenilirliği gibi etkenler lme cihazına göre spesifik olarak belirlenmelidir. lme güvensizliği değeri bir fiziksel büyüklüğün llmesinde hassasiyetin derecesini karakterize etmektedir. Ölüm işleminin kalitesi büyük lde bu

büyüklik hakkında bilinen verilerin miktarına bağlıdır (Durakbaşı, 2002).



Şekil 2.2 Ölçme belirsizliklerinin tolerans alanında muhtelif dağılımları (Kessel, 2002)

Şekil 2.2’de belli bir tolerans aralığı için ölçülmüş sekiz ölçüm sonucu gösterilmektedir. Koyu noktalar ölçüm değerlerini sınır çizgileri ise her bir ölçüm için belirsizlik aralıklarını tanımlamaktadır. Görüldüğü üzere belirsizlikler saptanmadan direkt olarak ölçüm sonuçlarına göre kontrol yapıldığı takdirde 3, 4, 5 ve 6. parçalar tolerans sınırları dahilinde kalmaktadır. Ancak ölçme belirsizliği aralıkları gözönüne alındığı takdirde oldukça geniş bir belirsizlik bölgesinin varlığı anlaşılmaktadır. Buna göre en iyi ihtimalle 2, 3, 4, 5, 6 ve 7. parçalar, en kötü ihtimalle bu parçalardan hiçbiri toleranslar dahilinde yer almayabilmektedir. Görüldüğü üzere ölçümün güvenilirlik derecesi bilinmeden yapılan ölçüm sonuçlarına göre yorumlamalarda bulunmak oldukça yanıltıcı olabilmektedir (Kessel, 2002).

Ölçme belirsizliği hesaplarının gereksinimi özellikle son 25 yılda yüksek oranda artmıştır. Ölçme işleminin güvenilirliği için yapılan tamlık ve belirsizlik analizlerini objektif veya sübjektif olarak gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Ölçme işlemini gerçekleştiren bir kişinin, ölçüm sonucunun etkisini anlaması için ölçümün sonucundan fazlasına ihtiyacı vardır. Ayrıca sonucun tamlığının saptanması gerekmektedir. Ölçme belirsizliğinin analizleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve halen yapılmaya devam etmektedir (Dieck, 1997).

2.3 Ölçme Belirsizlikleri Çalışmalarının Gelişimi

Herhangi bir ölçüm sonucu ancak belirsizlik değeri belli sınırlar çerçevesinde tutulabildiği takdirde kullanılabilir. Belirsizlik değerinin saptanmasıyla ölçüm sonucunun amacımıza uygun tolerans değerleri içinde olup olmadığı anlaşılabilir. Yıllardır ölçüm sonuçlarının belirsizliklerinin tahmini ve gösterimi için değişik yaklaşımlar yapılmıştır. Başlangıçta 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 Mesures) 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. ISO Metroloji Teknik Danışma Kurulunun (TAG 4) 3. çalışma grubu bu sorumluluğu üzerlerine almışlardır. Standardizasyon, laboratuvar akreditasyonu, kalibrasyon ve bunun gibi metroloji hizmetlerinde kullanılmak üzere ölçme belirsizliklerini ifade eden bir rehber referans oluşturulması amaç alınmıştır. Belirsizlik değerlerini hakkında mümkün merteye doğru yaklaşımlar oluşturmak ve ölçüm sonuçlarının uluslararası alanda mukayese edilebilmesi böylece sağlanmıştır [1].

1992’de Western European Calibration Co-operation’ın Başkanı ve daha sonra da European co-operation for accreditation’un Başkan Yardımcısı olan Kaarls, Eurolab atölyeleri için aşağıdaki genelgeyi oluşturmuştur.

“... modern ekonomik yapıda, ölçüm sonuçlarının konvansiyonel gerçek değerler formunda ölçme ve test sonuçlarına, üreticinin spesifikasyonlarına, belirlenmiş standart değerlere uygun olarak tanımlanması ve gösterilmesi gerekir.” (Kessel, 2002)

Sonuç olarak 100 sayfalık Ölçme Belirsizliklerinin İfadesi Rehberi (Guide to Expression of Uncertainty 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), Uluslararası Teknik ve Uygulamalı Fizik Birliği (IUPAP), Uluslararası Legal Metroloji Organizasyonu

(OIML) bu çalışmayı yürüten ve destekleyen uluslararası organizasyonlardır [1].

GUM tüm dünyada geniş bir kullanım alanı bulmuştur. 1500 üyeye sahip Standart Laboratuvarlar Ulusal Konferansı GUM'u baz alınarak RP-12 adı altında bir belirsizlik saptanması ve rapor edilmesi çalışması hazırlamıştır [1].

ISO, GUM' un Fransızca, Almanca, İtalyanca, Macarca, Japonca, İspanyolca ve Rusça tercümelerini yayınlamıştır. GUM metotları Kuzey Amerika Ölçme Standartları Birliği (NORAMET), Laboratuvar Akreditasyon Programı Ulusal Gönüllüleri (NAVLAP), Amerika Laboratuvar Akreditasyonu Derneği (ALA), Avrupa Ölçme Standartları Birliği (EUROMET), Avrupa Akreditasyon İşbirliği (EA), Avrupa Birliği (EU) ve benzeri bölgesel veya ulusal metroloji organizasyonlarınca da kabul edilmiştir [1].

2.4 Belirsizlik Temel Kavramları

Belirsizlik konusuyla alakalı olarak aşağıda tanımlaması yapılan kavramlar önem kazanmaktadır.

Tamlık: Ölçme prosesleri için tamlık terimi ölçme sonucunun objenin gerçek fiziksel değerine veya daha doğru olarak ölçmenin gerçek değerine yakınlığını tanımlamaktadır.

Kesinlik: Başarılı olarak saptanmış bir ölçme sonucunun tekrarlanabilirliğini tanımlamaktadır. Kesinlik ve tamlık yakın kavramlar gibi gözükseler de farklı terimlerdir. Bir ölçme sonucu yüksek tamlıkta olmasına rağmen işlem tekrarlandığında aynı veya nispeten yakın bir sonuç elde edilemiyorsa ölçme sonucunun kesinliğinden bahsedilemez. Aynı şekilde ölçme sonucu tekrar tekrar benzer sonuçlar olduğu, kesin bir sonuç olduğu halde sonuç değeri ölçümün gerçek değerinden uzak olabilir dolayısıyla yüksek tamlıktan söz edilemez (Tse ve Morse, 1989).

Doğrudan (direkt) ölçme metodu: Bu modelde ölçüm değeri, değerini aynı üniteye direkt girdi olarak verilmesiyle elde edilir, ölçümle fonksiyonel olarak bağlantılı diğer nitelikler ölçülmez. Ölçme cihazı objeyle direkt olarak temas eder ve sonuç okunur. Bazı durumlarda ölçme sonucu bir çarpan veya katsayıyla çarpılarak düzeltmeler yapılabilir. Bu modelde belirsizlik bileşenleri belirsizlik etkenleri olarak kabul edilmişlerdir. Etki değerleri ölçüm ünitesine indirgenmiştir ve hassasiyet katsayıları da "1" alınmıştır. Bir çok uygulamada karmaşık ölçümler bu modelle basitleştirilerek kontrol edilmektedir (TS 14253-2, 1999; Semson, 2000).

Dolaylı ölçme metodu: Modelde ölçüm değeri ölçümle fonksiyonel olarak bağlantılı niceliklerin ölçülmesiyle, dolaylı olarak hesaplanır.

Ölçme görevi: Basitçe ölçme sonuçlarının saptanması işlemidir.

Basit ölçüm: Basit ölçme görevleri iş parçasının veya ölçüm ekipmanının karmaşık karakteristik değerlerinin hesaplanması için yapılan birçok temel çalışmadır.

Tüm ölçme görevi: Karmaşık ölçme görevi birkaç farklı basit ölçümün temelden değerlendirilmesidir (TS 14253-2, 1999).

Genişletilmiş belirsizlik (U): Gerçek ölçüm değerinin de içinde bulunduğu garanti edilen bir aralıktır. U değeri, u_c değerinin bir “ k ” güvenlik katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilebilir. k katsayısının seçimi ölçümün güvenilirliğine göre yapılır (QUAM 2000:P1, 2000).

Gerçek belirsizlik (U_A): Ölçümün belirsizliğinin kusursuz bir belirsizlik tahmininden elde edilen değerine gerçek belirsizlik denir (TS 14253-2, 1999).

Konvensiyonel gerçek belirsizlik (U_C): GUM’un ayrıntılı prosedürlerine tamamen uyum gösterecek şekilde yapılmış belirsizlik tahminidir. Bazı kaynaklarda birleştirilmiş standart belirsizlik adını almaktadır. Bu değer tüm belirsizlik elemanlarının birleştirilip, işlem üzerindeki toplam etkilerinin pozitif karekökünden çıkartılan bir standart sapmadır. Bununla birlikte belirsizlik yayılması kuralıyla değerlendirilmiştir (TS 14253-2, 1999; QUAM 2000:P1, 2000).

Hedef belirsizlik (U_T): Ölçüm görevi için saptanmış optimum belirsizliktir. Hedef belirsizlik dizayn, imalat, kalite güvence, hizmet, satış, dağıtım vb. birçok faktöre göre alınan yönetim kararlarının sonucu olarak belirlenir.

Ölçümün belirsizlik gereksinimi (U_R): Verilmiş ölçme prosesi ve görevi için gerekli belirsizliktir. Müşteri tarafından belirlenebilir.

Belirsizlik yöntemi: Ölçme görevi ve hedef belirsizlikten, belirsizlik bütçesi tekniğini kullanarak uygun ölçme prosesini çıkarma işlemidir.

Belirsizlik bütçesi (raporu): Ölçüm sonucunun belirsizliğine etkide bulunacak belirsizlik bileşenlerinin tahmini değerlerinin bulunduğu özet bir rapordur. Sonucun belirsizliği hakkında ancak ölçme prosedürü tam olarak tanımlanmışsa (ölçülen obje, ölçüm, yöntem, şartlar, bileşenler) yorumda bulunulabilir. Bütçe terimi ölçme prosedürleri ve ölçüm şartlarına göre belirsizlik bileşenlerinin sayısal değerleri, bunların kombinasyonları ve bileşimlerinin tanımlanması için kullanılır (TS 14253-2, 1999).

Belirsizlik etkenleri: Proses üzerinde ve belirsizlik sınırlarına etkili olabilecek her bağımsız etkiye belirsizlik etkeni denir. Proses için ölçme belirsizliğinin her bir kaynağıdır (TS 14253-2, 1999).

Standart belirsizlik: Belirsizlik elemanı bir standart sapma değeriyle tanımlanabilirse buna standart belirsizlik denir (Semson, 2000).

Belirsizlik etkeni için limit değer (a_{xx}): Belirsizlik etkenleri için alınabilecek maksimum limit değerlerdir.

Belirsizlik bileşeni (U_{xx}): Belirsizlik etkenlerinin standart belirsizliğidir.

Ölçme cihazlarının etkisi: Ölçme cihazının ölçüm sonucuna etki eden karakteristikleridir.

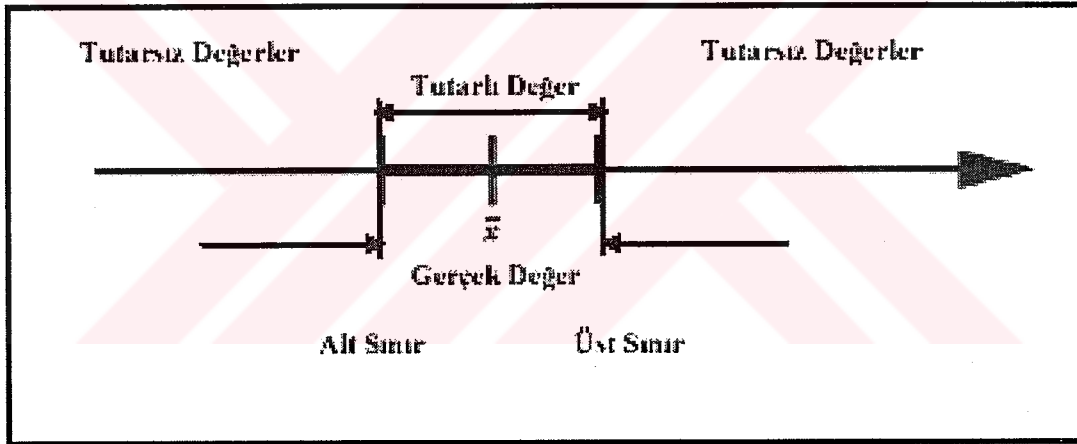
İş parçasının etkisi: İş parçasının ölçüm sonucuna etki eden karakteristikleri (TS 14253-2, 1999).



3. BELİRSİZLİKLERİN GÖSTERİLMESİ VE KULLANILMASI

Ölçme belirsizlikleri kavramlarının standartlaştırılmasıyla eşzamanlı olarak belirsizlikleri göstermek için gerekli standartlar oluşturulmuştur. Belirsizlikle, ölçme cihazlarına ve ölçme proseslerinin yayınlanmış standartlarına göre verimli, güncel, kolay ve ekonomik bir biçimde analiz edilmeli ve uygun şekilde gösterilmelidir. Belirsizliklerin belgelenmesinde, prosesle ilgili yeni bir veri elde edilirse bunların işleme katılabilmelerine izin verecek oranda bilgi olmalıdır. Özellikle hata bölümünde fazla bilgi vermek daima az tanımlama yapmaktan çok daha yararlı olmaktadır.

Daha önce de değinildiği gibi fiziksel bir niceliğin gerçek değerini saptayabilmek kesinlikle mümkün değildir. Bu sebeple ölçme işlemlerinde gerçek değer olarak daima konvansiyonel gerçek değer terimi kullanılmaktadır. Konvansiyonel gerçek değer bizim fiziksel olarak saptayabileceğimiz ölçümün gerçek sonucuna en yakın değerdir. Bu değerle birlikte belli bir belirsizlik bölgesi tanımlanarak ölçüm sonucu için tutarlı değerler saptanmaktadır.



Şekil 3.1 Belirsizlik bölgesi (QUAM 2000:P1, 2000)

Belirsizlik değeri bir aralık veya standart sapma olarak ifade edilebilmektedir. Belirsizlik birleşik standart belirsizlik (U_c) olarak gösterilecekse;

$$\text{(Sonuç): } x \text{ (birim)} \ U_c \text{ (birim)} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılması uygun olmaktadır. Burada x ölçülebilecek en doğru değer, başka bir deyişle konvansiyonel gerçek ölçüm sonucudur. Standart belirsizlik bir standart sapma değerinden oluşmaktadır ve standart sapma ile ifade edilen ölçme belirsizliği gösterimlerinde \pm sembolünün kullanımı tavsiye edilmemektedir.

Özellikle istenmediği takdirde ölçme sonuçları daima genişletilmiş belirsizlik değeriyle, aşağıdaki gibi gösterilmektedir (QUAM 2000:P1, 2000).

$$\text{(sonuç): } (x \pm U) \text{ (birim)} \quad (4.2)$$

Bu gösterimle birlikte bir güvenilirlik yüzdesinden söz etmek gerekmektedir. Bir çok modelde x gerçek değerinin %95 güvenilirlikle $x + U/x - U$ aralığında olduğu ve %5 olasılıkla bu sınırların dışında olduğu anlaşılmalıdır. Görüldüğü üzere istatistiksel bir mantıkla yaklaşımadan belirsizliklerin gösterilmesi mümkün olmamaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

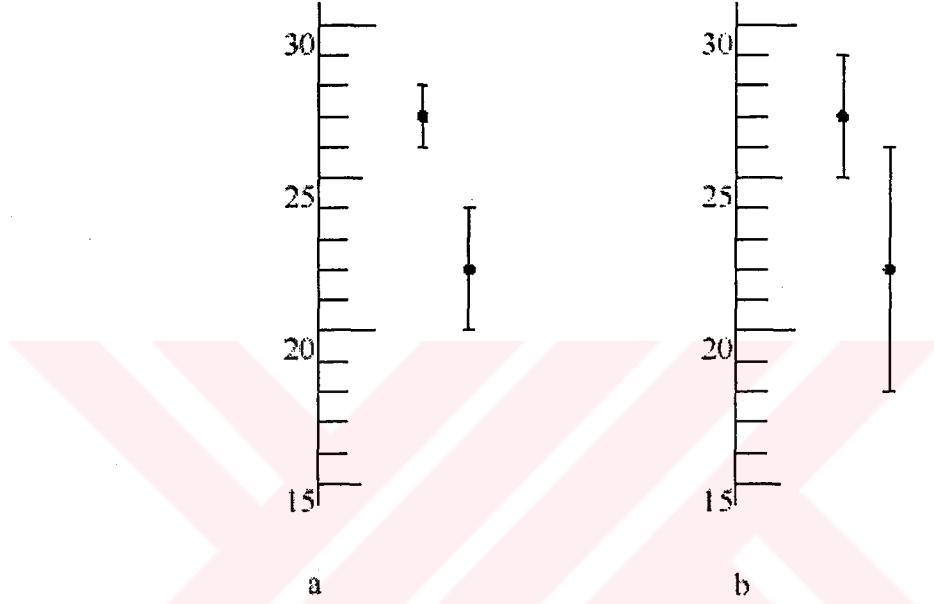
Belirsizliklerin gösterilmesiyle alakalı dikkat edilmesi gereken bazı faktörler vardır. Matematiksel olarak sonuç değerleri nadiren iki basamaktan fazla ondalıkla gösterilmektedir. Burada uygun olan sonucun yuvarlanıp bu etkinin belirsizliğe yansıtılması olmaktadır. Analitik sonuçtaki belirsizlik incelemeye alınarak sınırlara uygunluğu kontrol edilmekte, gerekli görüldüğü takdirde belirsizlik limitleri tekrar değerlendirilerek daha toleranslı hale getirilebilmektedir (QUAM 2000:P1, 2000; Taylor ve Robert, 1997).

Pratik örneklerle göstermek gerekirse, yerçekimi ivmesinin ifadesi için $g = 9.82 \pm 0.02385 \text{ m/s}^2$ şeklinde bir gösterim uygun olmamaktadır. Pratik uygulamalarda belirsizliğin tek bir değere yuvarlanması bir kural olarak kabul edilebilir. Buna göre $U = 0.02385 \text{ m/s}^2$ değeri $U = 0.02 \text{ m/s}^2$ ye yuvarlanmakta ve gösterim $g = 9.82 \pm 0.02 \text{ m/s}^2$ şeklini almaktadır. Aynı şekilde gerçek değer için de bu yaklaşıma gidilmektedir. Ancak burada U değerine göre bir yaklaşım getirilmiştir. Genel uygulama olarak gerçek değer belirsizlik aralığının boyutu göz önüne alınarak yuvarlanmaktadır. $v = 6051.78 \pm 30 \text{ m/s}$ gibi bir hız değeri için $v = 6051.78 \pm 30 \cong 6050 \pm 30 \text{ m/s}$ şeklinde bir gösterim uygun olmaktadır. Belirsizlik aralığı daha dar bir ölçüm sonucu içinse daha düşük oranda bir yuvarlama işlemi yapılmaktadır. Sözelimi 98.81 mm ' lik bir çap değeri $U = 0.3$ genişletilmiş belirsizliğiyle gösterilecekse sonucun yuvarlanması $d = 92.81 \pm 0.3 \cong 92.8 \pm 0.3 \text{ mm}$ şeklinde olmaktadır.

Yuvarlamaların belirsizlik hesaplanması esnasında değil yalnızca final değeri üzerinde yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde boş yere gerçekten uzak bir belirsizlik değerine veya düşük tamlıkta bir değere ulaşılmaktadır.

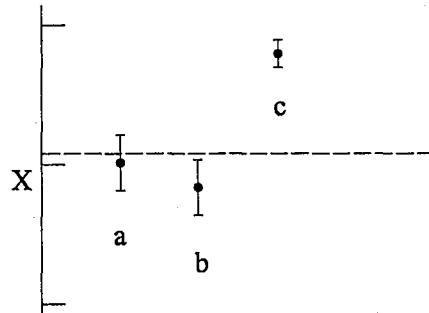
Şekil 3.2'de iki direnç değeri için yapılmış ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi a' da ölçme belirsizlikleri b' ye oranla oldukça düşüktür. a' da gösterilen direnç değerleri ve b' de gösterilen direnç değerlerinde konvansiyonel gerçek değerlere göre fark alırsak, farkları eşittir. Ancak a' da yapılan ölçümde ölçme belirsizliği değerleri toplamı farktan düşüktür,

b'de ise belirsizlik aralıklarının toplamı akımların farklarından daha büyük bir değerdir. a'da bir farktan söz edilebilirken b şeklinde akım değerlerinin aynı olması bile olasılıklar dahilinde kalmaktadır. Dolayısıyla a şeklinde olduğu gibi bir farklılıktan söz etmek analitik olarak mantıksız olmaktadır. Bu da ölçme belirsizliklerinin sonuçları yorumlamanın ne kadar önemli olduğunu bize bir kez daha göstermektedir. Farklılık hesaplarında belirsizlik aralığı daima göz önünde bulundurulmakta ve ölçüm değerine göre geniş kabul edilebilecek aralıkların güven tesis etmeyeceği kabul edilmektedir.



Şekil 3.2 İki direnç değeri için belirsizlik bölgelerinin gösterilmesi (Taylor ve Robert, 1997)

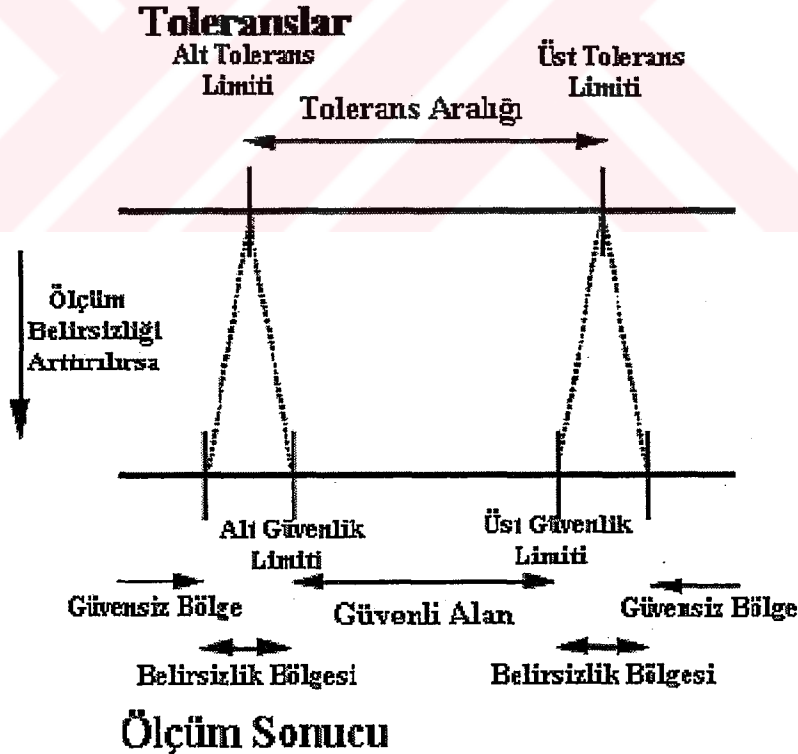
Herhangi bir ürünün, belirsizlik limitleri çerçevesinde standartlarda belirtilen tolerans değerlerinin içinde kalması gerekmektedir. Şekilde bir ürün için yapılan üç ölçüm gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Çeşitli belirsizlik aralıklarının gösterilmesi (Taylor ve Robert, 1997)

Bilinen gerçek değer X ile gösterilmiştir. Bu şartlar altında yapılan ölçümlere bakacak olursak a ölçümünün belirsizlik aralığıyla birlikte tatmin edici olmaktadır. b ölçümü görüldüğü gibi belirsizlik aralığıyla birlikte gerçek değer dışında kalmaktadır. Her ne kadar değere yakın olsa da b ölçümü kabul edilemez. c ölçümü ise daha düşük bir ölçme belirsizliğine sahip olduğu halde bizim için kesinlikle tatmin edici değildir hatta üç ölçüm arasında en hatalı olanıdır (Taylor ve Robert, 1997).

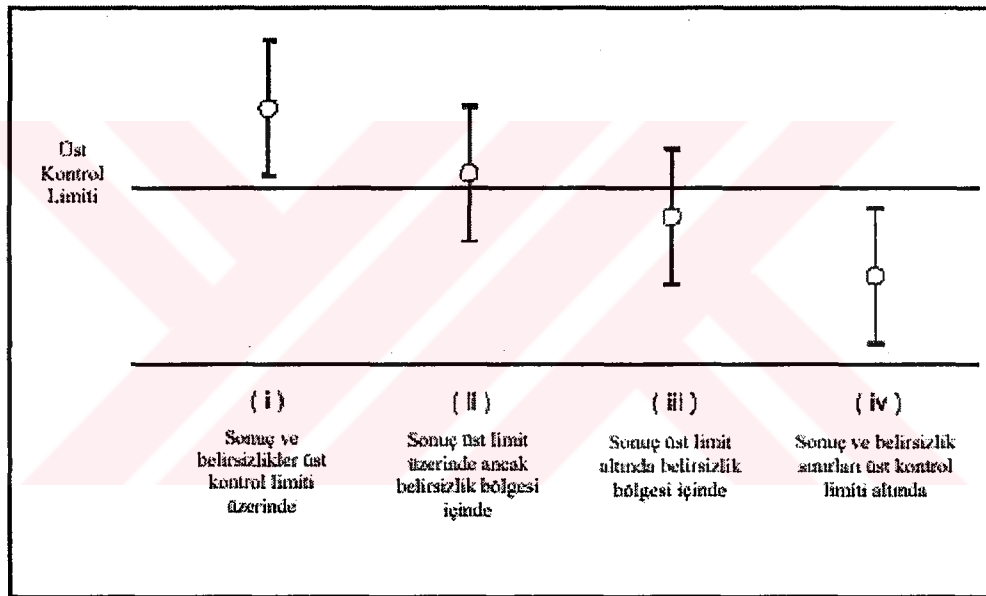
Ölçme belirsizlikleri verilerinin üretim süreçlerinde kullanılmasında işin içine parça toleransları da girmektedir. Ölçme belirsizlikleri aralığı toleransın $1/30 - 1/20$ oranından fazla olamaz. Belirsizlik bölgesi ürün spesifikasyonlarını aştığı takdirde ürünün tolerans bölgesi içinde olduğu garanti edilememekte, dolayısıyla proses üzerinde bir hakimiyetten söz edebilmek mümkün olmamaktadır. İmal ettikleri parçaların müşteri beklentilerine uygun olduğunu kanıtlamak isteyen bir tedarikçi, iş parçasının ölçüm karakteristiklerinin beklenen toleranslar dahilinde, güvenli bölge sınırları içinde olduğunu göstermek durumundadır. Bunun aksini göstermek isteyen bir müşteri ise karakteristiklerin güvenli bölge dışında yer aldığını saptamak durumundadır.



Şekil 3.4 Toleranslar ve belirsizliklerin ölçüm sonucuna etkisi (Kessel, 2002)

Şayet ölçüm değeri belirsizlik bölgesinde kalmışsa ne müşteri parçayı reddedebilir ne de tedarikçi mamulün uygun olduğunu gösterebilir. Bu halde mamulün kabulü veya iadesi tarafların anlaşmalarına göre yapılmaktadır. ISO 14253-1 Geometrik Ürün Spesifikasyonları (GPS) – İş Parçaları ve Ölçme Cihazlarının Ölçümüyle Muayene standardı, mamullerin spesifikasyonlara uygun olup olmadığını belirlemek için gerekli kuralları düzenlemektedir. Bu standart spesifikasyonlarla tutarlılık üzerine hazırlanmıştır (TS 14253-2, 1999; Weckenmann vd., 2001).

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi tolerans bölgesi dahilinde ölçme belirsizlikleri oranında bir güvenli bölge oluşmaktadır. Buna göre proses üzerinde tam bir hakimiyet oluşturmak için ve ürünün % 100 istenilen kalite şartlarını sağladığını garanti etmek için tolerans alanının içindeki güvenli bölge aralığında çalışmamız gerekmektedir (Kessel, 2002).



Şekil 3.5 Üst kontrol limitine göre belirsizlik aralıklarının konumu (QUAM 2000:P1, 2000)

Belirsizlik aralıkları toleranslara göre, Şekil 3.5’de görülen dört farklı durum oluşturabilmektedir.

Birinci durumda sınırlara kesin bir sapma söz konusu olmaktadır. Dördüncü uygulamada ise tam bir uyum görülmektedir. İki ve üçüncü haller daha ayrıntılı araştırmalara ve kullanıcı verilerine ihtiyaç duyulan hallerdir. Benzer bir şekil alt limit içinde çizilebilir.

Sınırların belirsizlik için belli ölçütlerde kabul edilebilir şekilde saptanmış olduğu bilindiğinde veya kabul edildiğinde, bu kabuller çerçevesinde değerlerin sınırlara uygunluğu

yargılanabilmektedir. Uygunluk metodun tanımlanmış şartlarda uygulanmasına göre belirlenmişse, istisnai bir durum ortaya çıkmaktadır.

Yapılan her ölçme belirsizliği analizi için bir rapor hazırlanması gerekmektedir. Normal olarak bu raporda bulunması gerekenler aşağıda sıralanmışlardır.

- Ölçüm sonucu ve belirsizliğinin saptandığı metodun kullanılan deneysel çalışma veya girdi verileri
- Hesaplamaların, belirsizlik analizlerinde kullanılan düzeltmelerin, sabitlerin kaynakları ve değerleri
- Belirsizlik bileşenlerinin her birinin nasıl hesaplandığını gösteren tam bir belgeleme
- Veri ve analizlerin gerekirse önemli işlem adımlarının kolayca takip edilebileceği şekilde rapor edilebilmesi

Başlangıç verilerine dahi gereksinim duyulduğu bir detaylı raporda her bir girdi değerinin verilmesi, standart belirsizliğin ve her birinin nasıl saptandığının anlatılması, girdilerle çıktılar arası ilişkilerin ve kısmi türevlerin, güvenlik veya düzeltme katsayılarının belirtilmesi, standart sapmanın her bir değeri için serbestlik derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yalnızca rutin analiz sonuçları rapor edilirken sadece genişletilmiş belirsizlik değerinin ve k katsayısının belirtilmesi yeterli olmaktadır (QUAM 2000:P1, 2000).

Ölçme belirsizliklerinin analizi, hata kaynaklarının ve etkilerinin saptanması için tekrarlanan ölçümler yapmak çoğunlukla bir mecburiyet olarak karşımıza çıkmaktadır. Numunelerden alınan değişik ölçüm sonuçlarının analiz işlemini kolaylaştıracak, uygun bir formatta gösterilmesi gerekmektedir. Ölçme verileri genel uygulamalarda grafik veya tablolarla ifade edilmektedir.

Tablolarla yapılan gösterim temel olarak tüm verilerin alt alta gösterilmesidir. Yalnızca basit ölçme sonuçları gösterilebileceği gibi bu sonuçlardan yola çıkarak hesaplanan başka değerlerde ifade edilebilmektedir. Tüm ölçme sonuçlarının gösterilmesi ölçme tamlığı üzerine basit yaklaşımlar yapmaya imkan vermektedir.

Çizelge 3.1'de standart bir numune için belli gerilim aralıklarında gerilim değerleri gösterilmektedir. Veriler standart çubuğa belli kuvvet değerleri uygulamak suretiyle ekstansometreyle ölçülmüştür.

Çizelge 3.1 Standart bir numune için gerilim-gerinim ölçüm sonuçları

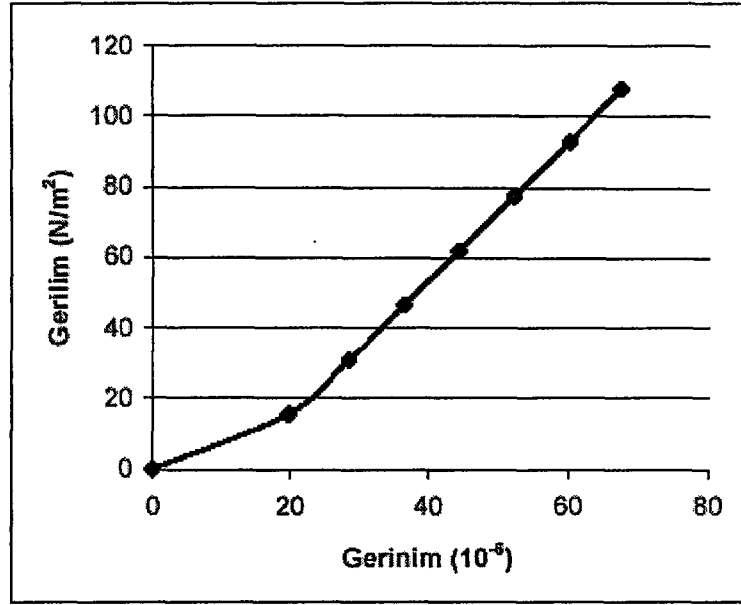
Uygulanmış Kuvvet Değerleri İçin Okunan ve Hesaplanan Gerilim ve Gerinim Değerleri Tablosu	Uygulanan Kuvvet (kN)	Ekstansometre Değeri	Gerilim (N/m ²)	Gerinim
	0	0	0	0
	2	4.0	15.5	19.8 x 10 ⁻⁵
	4	5.8	31.0	28.6 x 10 ⁻⁵
	6	7.4	46.5	36.6 x 10 ⁻⁵
	8	9.0	62.0	44.4 x 10 ⁻⁵
	10	10.6	77.5	52.4 x 10 ⁻⁵
	12	12.2	93.0	60.2 x 10 ⁻⁵
Ölçmedeki Muhtemel Hata (%)	14	13.7	108.5	67.6 x 10 ⁻⁵
	±0.2	±0.2	±1.5	±1.0 x 10 ⁻⁵

Tabloyla veri aktarımında uyulması gerekli ilkeler şunlardır,

- Tablonun ölçme işlemini ve prosesi tanıttacak yeterli bir başlığı olması zorunludur.
- Her bir kolonda tek tip nicelikler gruplandırılmalıdır.
- Her kolon için başlık ve tanımlama yapılmalıdır.
- Her kolon için ölçme verilerinin birimleri tanımlanmalıdır.
- Değerlerle ilgili güvenilirlik faktörü tablonun bir bölümünde ifade edilmelidir.

Verilerin grafikte gösterilmesi durumunda tamlik üzerine yaklaşımlar yapılması mümkündür. Grafik üzerinde gerçek ölçüm değerleri kaybolabilir ancak buna rağmen iki önemli avantajı vardır. Öncelikle grafik gösterimde sonuçlar tabloyla gösterime oranla çok daha pratik olarak okunabilmektedirler. Ayrıca sonuçların fiziksel değerlerinin karşılaştırılmasını çok daha kolaylaştırmaktadırlar.

Şekil 3.6'da gerilim-gerinim değerleri grafikte gösterilmektedir. Az sayıda ölçüm yapıldığı takdirde eğriyi çizmek için izlenecek yol öncelikle noktaların eğride işaretlenmesi daha sonra bu noktalardan geçen eğrinin çizilmesi şeklinde olmaktadır. Ölçme sonuçları belli sınırlar çerçevesinde olmak kaydıyla eğrinin altında veya üstünde kalabilirler.



Şekil 3.6 Verilerin grafikte gösterilmesi (Alan, 1991)

Grafikle veri gösteriminde önemli noktalar aşağıda sıralanmaktadır.

- Grafiğin prosesi, ölçme işlemi tanıtan bir başlığı olması gereklidir.
- Grafiğin iki ekseninin de anlaşılabilir biçimde birim bilgileri de verilmek suretiyle tanımlanması gereklidir.
- Eksenlerde işaretlenen noktalar makul boyutlarda verilmelidir.
- Grafik maksimum ve minimum verilerin dışına uzatılmamalı yerinde kesilmelidir (Alan, 1991).

4. BELİRSİZLİKLERİN KAYNAKLARI

Kalite güvencesi final mamulün imalat prosesinin tüm parametrelerinin ve karakteristiklerinin standartlara uygun, bilinen bir tamlıkla ölçülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tamlığın mümkün mertebe yüksek olması gerekmektedir. Ölçme sistemini oluşturan kişinin ana görevlerinden biri ölçüm çıktılarının hata oranını mümkün mertebe azaltmak ve kalan hata faktörünün değerini belirlemektir. 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 ortaya çıkarılmaktadır (Alan,1991).

Belirsizlikler bir çok farklı kaynaklardan ortaya çıkar. Yetersiz veya yanlış tanımlamalar, numuneler, matris hataları, dış müdahaleler, çevre şartları, referans değerleri, ölçüm metodu ve prosedüründe veya bunların seçimlerinde olabilecek muhtemel eksiklikler, tüm bunların yanında ölçüm işleminde etkili olabilecek her rastlantısal etken bizi doğru ölçüm sonucundan uzaklaştırarak belirsizlik sınırlarımızın genişlemesine sebep olmaktadır (QUAM 2000:P1, 2000).

Hatalar, rastlantısal ve sistematik hatalar adı altında iki temel başlık altında toplanmaktadır. Rasgele veya rastlantısal hatalar tesadüfi, gelişigüzel, tam etkileri belirlenemeyen hatalardır. Birçok farklı faktörün birleşimi sonucu etkin hale gelmekte ve ölçüm sonucunu gerçek sonuçtan uzaklaştırmaktadırlar. Ölçüm sonucunun tekrarlanan gözlemlerinde etkileri artar. Analitik olarak belirlenmeleri ve düzeltme faktörleriyle elimine edilmeleri mümkün olmamaktadır. Ancak ölçüm sayısı artırılarak etkileri telafi edilebilmektedir (QUAM 2000:P1, 2000; Schneider, 1962).

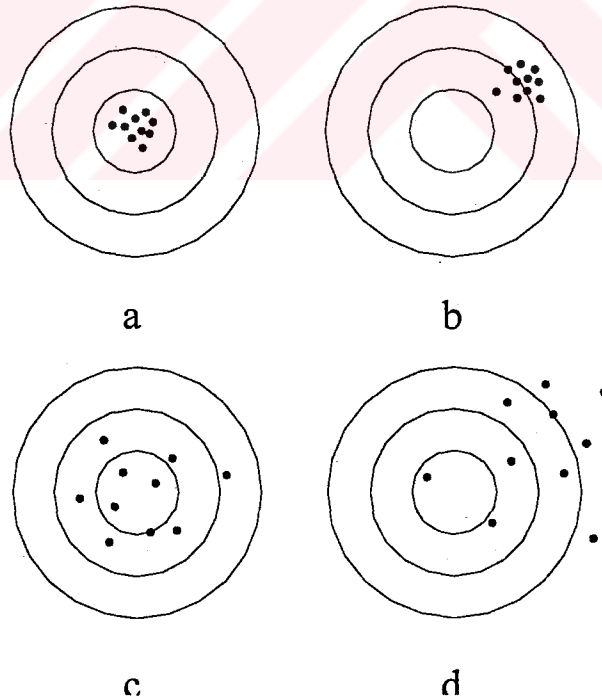
Çok sayıda ölçüm için belirtileri ve büyüklükleri rastlantısaldir. Mantıksal olarak pozitif hatalar ve negatif hataların eşit olup toplam hata faktörünün "0" olması kabul edilmiştir. Rastlantısal hataların değeri tekrarlanabilirlik terimiyle de tanımlanabilmektedir. Rastlantısal hatalar özellikle insan kaynaklı analog ölçümlerde, skalalarda interpolasyon gerektiğinde ortaya çıkmaktadır. Elektriksel gürültü, sıcaklık değişimi, kir, toz, titreşim vb. etkenler bu hataların kaynaklarını oluştururlar (Alan,1991).

Rastlantısal hataların toplamının sıfır olduğu varsayımından belli sayıda ölçüm yapılarak bunların ortalamasının rastlantısal hatalardan arındırılmış olduğu varsayılabilir. Bununla birlikte hatalar gerçekte rastlantısal değilse doğru sonuç alınamaz. İnsan kaynaklı

ölçümlerde her ölçümde farklı bir değere ulaşılması muhtemeldir. Şayet cihaz doğru okunuyorsa hataların rastlantısal olduğu aşıkardır ve ortalama değere gidilmesiyle giderilebilmektedir (Alan,1991).

Ölçüm sayısı artırılarak yapılan istatistiksel çalışma doğru bir analizden geçirilmezse elde edilen dağılımın rastlantısal hataları yansıttığını kabul etmek doğru olmamaktadır. Bu durumda tam kontrol edilmemiş az sayıda sistematik hata rastlantısal hata olarak kabul edilmektedir. Bunun olmaması için öncelikle sistematik hataların hassas bir şekilde ayrılıp değerlendirilmesi gerekmektedir (Tse ve Morse, 1989).

Sistematik hatalar aynı büyüklüğün ölçümünde etkileri sabit kalan, sebepleri ve sonuçları tespit edilebilen hatalardır. Düzeltilebilir, tutarlı değerlerdir. Ölçüm sayısından bağımsızdır ve şartlarda bir değişme olmadığı takdirde her ölçüm için aynı kalmaktadırlar. Bununla birlikte aynı ölçüm koşullarında yapılan analiz çalışmalarının artırılması ile etkileri telafi edilebilirler. Etkileri sistematik olarak değişebilir. Şartların yeterli oranda kontrol edilmediği denemelerde sistematik hata etkileri değişken bir artış gösterir. Bununla birlikte bir ölçüm sonucu, belirlenen tüm sistematik hataların etkilerinin tespiti ile düzeltilebilir (Tse ve Morse, 1989; QUAM 2000:P1, 2000).



Şekil 4.1 Rastlantısal ve sistematik hataların etkileri (Taylor ve Robert, 1997)

Şekil 4.1'de rastlantısal ve sistematik hatalar daha kolay anlaşılabilir. Doğru ölçüm

sonucunun dairelerin merkezi olduğunu ve işaretlenmiş her bir noktanın bir ölçme sonucu olduğunu kabul edersek a'da sonuçlar tutarlı, gerçek değere nispeten yakın çerçevede kalmışlardır. Burada söylenebilecek şey ölçüm değerlerinde az miktarda sistematik ve rastlantısal hata olduğudur. b'de ise ölçülen değerler gerçek değerden uzak kalmışlardır, bununla beraber birbirleriyle tutarlıdır ve yakındır. 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 gene gerçek değer civarına denk düşmektedir. 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 hatalar arasındaki ayırım her zaman son derece kesin ve anlaşılabilir değildir. Bir uygulamada sistematik hataya sebebiyet veren bir etken diğer uygulama için rastlantısal hata kategorisinde olabilmektedir (Taylor ve Robert, 1997).

Ölçüm esnasında sistemi etkileyen problemler ve değişken girdilerin etkileri, sistematik hataların iki temel etkeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer sistematik hata kaynakları olarak cihazdaki bozulmalar, hizalama, dizayn problemleri, kalibrasyon problemleri, aparatların konumu, işlemin teknik ve prosedürleri vb. sayılabilmektedir (Tse ve Morse, 1989).

Ölçme cihazı için imalatçıları tarafından cihazın tamlığı hakkında bir veri formu verilmektedir. Cihazın imalatına bağlı çeşitli faktörlerde bu tamlığı etkilemektedir. Sistematik hataların ölçüm üzerindeki genel etkisi sapma veya hassasiyet değişimi formundadır (Alan, 1991).

Herhangi bir ölçme prosesinde belirsizliklerin toplam değerinin bulunması için gerekli temel yaklaşım, işlem üzerinde etkin olan aynı veya farklı kaynaklardan oluşan tüm bağımsız belirsizlik etkilerinin tespit edilmesidir. Belirsizlik elemanları birbirlerinden bağımsız değilse elemanların birbiri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Böylece birbirinden bağımsız olmayan belirsizlik elemanlarının etkilerinin birleştirilip tek bir başlık altında toplanması mümkün olabilir (QUAM 2000:P1, 2000).

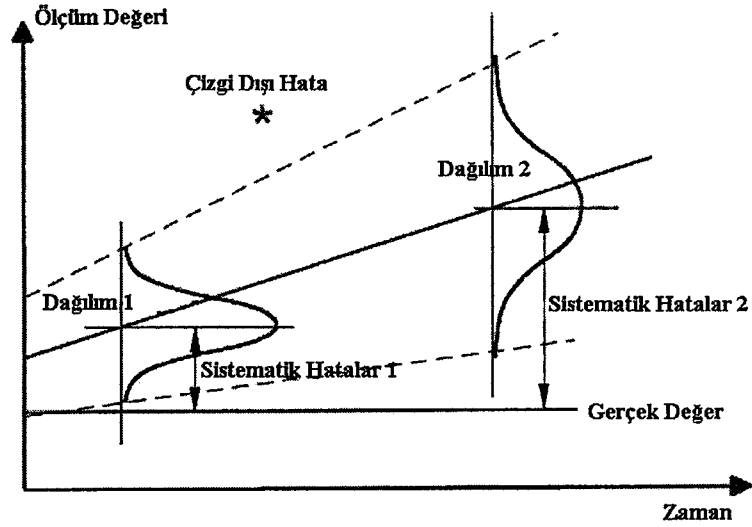
Ölçme işlemi esnasında ölçülen fiziksel büyüklüğün ölçme cihazından etkilenmesi çok rastlanan bir durumdur (Termometrenin ortam ısısını düşürmesi, voltmetrenin akım şiddetini etkilemesi vb.). Genel bir yaklaşım olarak ölçme cihazının ölçme sistemini etkilemesi

kaçınılmazdır. Bu etkilerin boyutları cihaza ve sisteme göre farklılık gösterir. Etkiyi minimuma indirmek ölçme ekipmanı dizaynının da göz önüne alınması gerekli bir faktördür. Aynı zamanda sistem-proses etkileşimi dikkatlice analiz edilmelidir.

Ölçme cihazının statik ve dinamik karakteristiklerini standart sıcaklık, basınç vb. çevresel şartlara göre şekillenmektedir. Bu belirlenmiş koşullar ölçüm esnasında mümkün mertebe tekrar sağlamalıdır. Standart çevre koşullarından her sapma cihazın ölçüm değere bir etkide bulunur. Bu etki iki sabit değerle karakterize edilmektedir. Sürüklenme hassasiyeti ve 0 sürüklenmesi. Bu değerler cihazın imalatçıları tarafından belirlenmiştir. Kalibrasyon koşullarından deplase olmuş çevre şartları çeşitlilikleri, sistem değişken girdileri olarak tanımlanır. Çevresel çeşitlilikler ise ölçme sistemi girdileri olarak tanımlanır. Genel ölçüm proseslerinde değişken girdileri belirlemek çok zordur, ölçme sistemini çevreleyen ortam koşullarını kontrol etmek pratikte imkansızdır. Bu sebeple sistem dizayn eden tasarımcılar ölçme cihazının değişken girdilere hassasiyetini azaltmakla veya bunların etkilerinin saptanarak çıktılarda düzeltme faktörleri belirlemekle yükümlüdür.

Değişken girdileri saptamak, minimize etmek için kullanılan temel teknikler cihaz dizaynının değişken girdilere hassasiyetini düşürecek bir dizayn yapmak, gerilim bloklarının dizaynında sıcaklıkla direnç katsayısı düşük bir malzeme seçilmesi vb. önlemlerdir. Birçok cihazda basit dizayn değişiklikleri ile tatminkar bir değişim gerçekleştirilemez ve diğer ölçümler yapılmak durumunda kalınır. Girdileri sıfırlama metodu basitçe değişken girdilerin sistem üzerindeki etkilerini karşılayacak şekilde sisteme başka bir değişken girdi eklemektir. Sinyal filtreleme prosesindeki periyodik bir gürültü, titreşim vb. etkilerden kaynaklanan problemdir. Etkenin frekansı saptandıktan sonra Band-stop filtrelemesi ile etkisi indirgenmektedir.

Kontak bölgeleri bir diğer hata faktörüdür. Ölçme sistemi bileşenlerini bağlarken hatlardaki direnç, pnömatik veya hidrolik tahrikli sistemlerde hatlardaki kayıplar vb. etkilerin sonuçlarıdır. Bu sebeple bağlantı bölgelerinin dizaynı üzerinde hassasiyetle çalışılmalı, kayıplar bulunum minimize edilmeli, elimine edilemeyen kayıplar için düzeltme faktörleri kullanılmalıdır. Termal emf, İki farklı metal temas ettiklerinde birleşmenin sıcaklığına göre bir emf oluşur. Bu termokopulların fiziksel çalışma prensibidir. emf yalnızca birkaç mili volt boyutundadır ve etkisi ancak sistem ölçümlerinin tipik çıktıları da düşük boyutta olduğunda değerlendirmeye alınır (Alan, 1991).



Şekil 4.2 Ölçme hatalarının sınıflandırılması (TS 14253-2, 1999)

Ölçme hataları standartlarda 4 farklı hata tipiyle tanımlanmaktadır;

- Sistematik hatalar
- Rastlantısal hatalar
- Sürüklenme
- Çizgi dışı hatalar

Tüm hatalar doğalarında sistemattirler. Ancak hatanın sebebi aranmıyorsa veya çözünürlük seviyesi yeterli değilse sistemattik olmayan hata olarak kabul edilmektedirler. Sistemattik hatalar boyut ve işaretlerle tanımlanır.

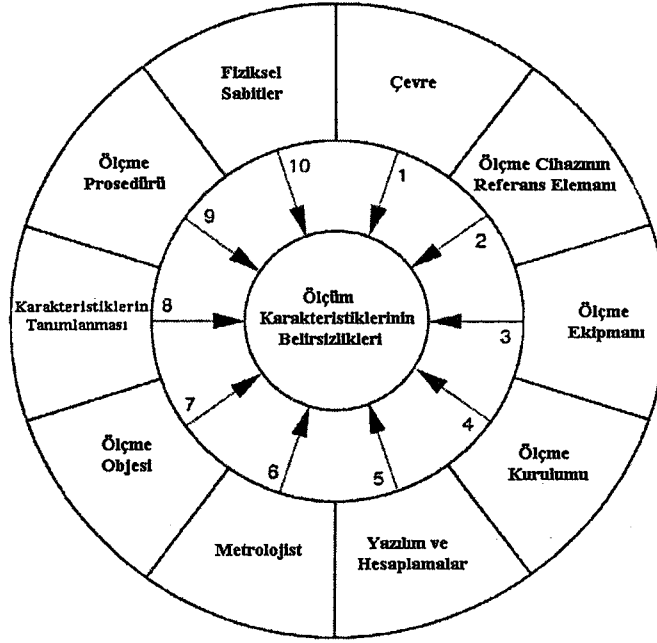
$$ER=MR-TV \quad (4.1)$$

ER hata, MR ölçme sonucu ve TV gerçek değerdir. Rastlantısal ve sistemattik hataları kontrol edilemeyen rasgele niceliklerin etkilerindedir. Rastlantısal hatalar standart sapmalar ve dağılım eğrileri ile tanımlanmaktadır.

Sürüklenme kontrol edilemeyen niceliklerin sistemattik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Genellikle bir zaman etkisi yada aşınma etkisidir. Sürüklenme ünitenin zamanla yenilenmesi veya kullanım miktarı değişimiyle karakterize edilebilmektedir (TS 14253-2, 1999).

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 prosesindeki hata veya belirsizlikler birçok farklı

kaynaktan veya hata etkenlerinden bilinen veya bilinmeyen hataların bir karışımı olmaktadır.



Şekil 4.3 Ölçme belirsizlikleri temel etkenleri (TS 14253-2, 1999)

Kaynaklar veya etkenler her durumda aynı değildirler ve bileşenlerin toplamı da aynı olmaz. Sistematik bir yaklaşım yapmak halen mümkün olmaktadır. Daima az sayıda birkaç kaynak veya Şekil 4.3'te gösterilen on farklı olayın birleşik etkileri vardır (TS 14253-2, 1999).

Bu on etken için örnekler ve daha derin bilgi verilmiştir. Her etken ölçüm sonucu üzerinde bir rol oynamaktadır. Ancak birçok uygulamada birbirleriyle etkileşime girerler ve bir bileşke hata ve belirsizliğe sebep olmaktadır. 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 (TS 14253-2, 1999).

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 Ekipmanının Referans Elemanı

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

Ölçüm Cihazı

- Elektriksel veya manyetiklik
- Dalga boyu hatası
- Sıfır noktası sabitliği
- Kuvvet stabilitesi/mukavemet
- Histeresis
- Referanslar
- Prob sistemi
- Geometrik eksiklikler

- Katılık/rijitlik
- Okuma sistemi
- Isıl genleşme lineer katsayısı
- Sıcaklık sabitliği hassaslığı
- Paralakslar
- Son kalibrasyondan bu yana geçen zaman
- Karakteristik karşılık
- İnterpolasyon sistemi dalga boyu hatası
- İnterpolasyon çözünürlüğü
- Dijitalleştirme

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
- Elastiklik modülü
- Elastiklik modülü üzerinde katılık
- Isıl genleşme katsayısı
- İletkenlik
- Ağırlık
- Boyut
- Şekil
- Manyetiklik
- Yaşlanma
- Temizlik
- Sıcaklık
- İç gerilme
- Sürünme karakteristikleri
- Malzemenin higrometrik karakteristikleri
- Sıkıştırılmayla iş parçası çarpılması
- 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
- Operatör sayısı
- Strateji
- Sıkıştırma
- Fikstüre alma
- Noktaların sayısı
- Problema stratejisi ve prensipleri
- Prob sistemi sıralaması
- Sürüklenme Kontrolü
- Hata dağılımı
- Ölçüm çevrimleri

Fiziksel sabitler ve dönüşme faktörleri

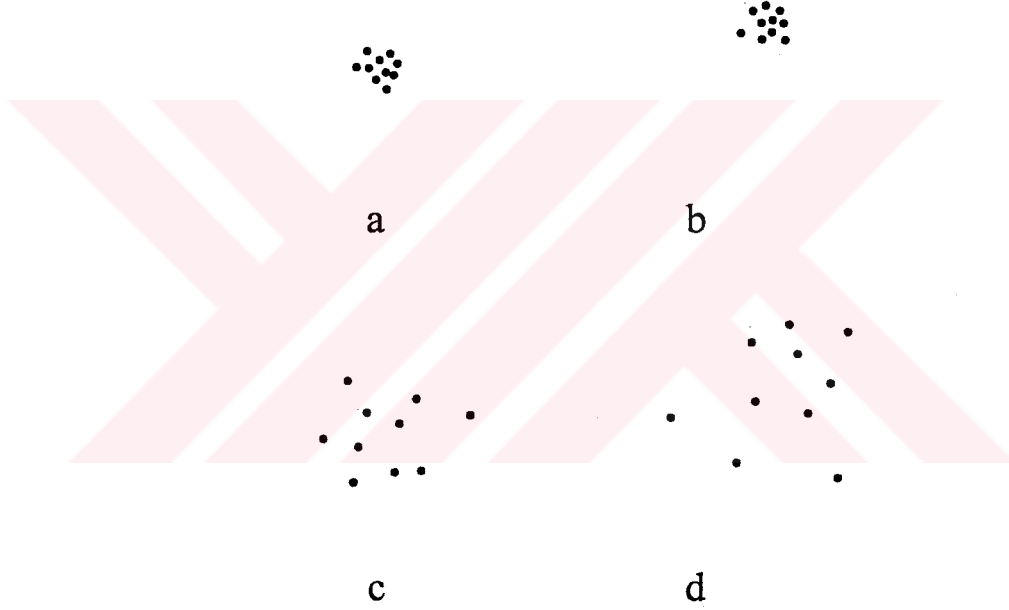
Malzeme özelliklerinin (iş parçası, ölçme cihazı, ortam atmosferi vb. doğru fiziksel değerlerinin bilinmesi)

5. BELİRSİZLİKLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

5.1 Rastlantısal Hataların İstatistiksel Analizi

Ölçüm sonuçlarında güvenilirliği artırmanın en iyi yolunun tekrarlamalı ölçümler yaparak elde edilen sonuçları yorumlamaktır. Pratikte ölçme sonuçları daima tekrarlanan ölçümlerle oluşturulan istatistiksel verilere göre dikkate alınırlar.

Şekil 4.1'i tekrar gözönüne aldığımızda burada ölçümlerin gerçek değerinin başlangıçta bilinmekte olduğu anlaşılmaktadır. Oysa hiçbir pratik uygulamada ölçüm sonuçlarının gerçek değerlerini baştan bilmek mümkün değildir. Bu sebeple gerçek bir uygulama için şekil aşağıda gösterilen biçimi alacaktır.



Şekil 5.1 Rastlantısal ve sistematik hataların doğal yayılımı (Taylor ve Robert, 1997)

Ölçümler üzerinde yorum yapmamız gerekirse üstteki iki sonuç grubu için rastlantısal hataların nispeten zayıf olduğu açıktır. Ancak diğer sonuçlara bakarak buradaki sistematik hataları saptayabilmek imkansızdır. Bir çok uygulamada karşımıza çıkan olaylar da aynen böyle olmaktadır. Sistematik hatalar ve rastlantısal hataların analiz prosedürü birbirlerinden farklıdır. Rastlantısal hataların etkileri istatistiksel yöntemlerle yaklaşık olarak belirlenebilir de sistematik hataların tespiti ve etkilerinin saptanması için çok daha ayrıntılı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

İstatistiksel çalışmalarla bir dizi ölçüm verisi değerlendirilirken ortalama ve orta değer kavramları sıklıkla kullanılmaktadır. Herhangi bir proses için yapılmış n sayıda ölçüm için alınan ölçme verilerini $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ olması durumunda ortalama değer 5.1 numaralı eşitlikte gösterilmektedir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

Bu değer için pozitif ve negatif etkenlerin birbirleriyle dengede olduğu dolayısıyla birbirlerini nötrlediği kabul edilmektedir.

Ölçme verilerinin sayılarının çok fazla olduğu ve ortalama almaktan daha kolay çözümlere ihtiyaç duyulan hallerde orta değer kullanılmaktadır. Orta değer basitçe ölçme verileri alt alta yazıldığında ortada kalan değer olarak tanımlanabilmektedir. Örnek vermek gerekirse, dokuz adet ölçüm sonucu için beşinci değer, on adet ölçüm sonucu içinse beşinci ve altıncı değerlerin ortalaması orta değer olarak alınabilmektedir (Alan, 1991).

Ortalama veya orta değer gerçekte değere eşitliği veya yakın olup olmaması tamamen ölçülen verilerin birbirleriyle tutarlılığına bağlı olmaktadır. Ölçme verileri ne kadar geniş bir alana yayılmışsa ortalama değerle gerçek sonuca veya ona yakın bir değere ulaşma ihtimali azalmaktadır. \bar{x} ortalama değerine göre her ölçüm verisinin belli bir farkı vardır. Bu fark o değer için ortalamadan sapma değeri olarak tanımlanmaktadır (Coleman ve Steele, 1999).

$$d_i = \bar{x} - x_i \quad (5.2)$$

Doğal olarak bu sapma değerlerinin mümkün mertebede düşük değerli olması ölçme verilerinin tutarlılığını işaret etmektedir. Matematiksel olarak anlaşılacağı üzere sapma değerleri pozitif veya negatif olabilirler. Bu sebeple tüm sapma değerlerinin toplam etkisini hesaplayarak ölçüm sonuçlarının genel sapmasını bulmak gerekmektedir. N sayıda ölçüm için aşağıda verilmiş formül standart sapma değerini vermektedir (Coleman ve Steele, 1999).

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.3)$$

Standart sapma değeri tüm istatistiksel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir referanstır, dolayısıyla ölçme hatalarının analizinde ve değerlendirilmesinde de geniş ölçüde kullanılmaktadır. Basit olarak her bir sapma değerinin kareleri toplamının kareköküdür.

Standart sapma değeri literatürde σ sembolüyle ifade edilse de GUM' da s_x şeklinde gösterilmektedir (Taylor ve Robert, 1997).

Standart sapma değerinde formülü aşağıda gösterildiği gibi değiştirerek yeni bir yaklaşım yapılmıştır.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.4)$$

Yeni standart sapma değerine göre N ölçüm sayısı yerine N-1 değeri kullanılmıştır. Böylece standart sapma değeri büyütülerek güvenlik katsayısı artırılmak istenmektedir. Özellikle az sayıda ölçme verisiyle yapılan çalışmalarda standart sapmayı bu formüle göre hesaplamak veya düzeltme katsayısı kullanmak uygun olmaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

x fiziksel büyüklüğünün N sayıdaki ölçümünün değerlendirilmesiyle elde edilen ölçme sonucu ve belirsizlik aralığını göstermek için izlenmesi gereken yol şöyledir.

- Daha önce değinildiği gibi ölçme belirsizliklerinin gösteriminde, fiziksel büyüklüğün gerçek değerine mümkün merteye yakın, konvansiyonel gerçek değer ve belirsizlik aralığının saptanması gerekmektedir.
- Ölçme verilerinin ortalama değeri \bar{x} , x_b değeri olarak alınır.
- Ölçme verilerinden standart sapma değeri s_x hesaplanır.
- Hesaplanan s_x değeri \sqrt{N} değerine bölünerek ortalamanın standart sapması bulunur.

$$s_x^- = \frac{s_x}{\sqrt{N}} \quad (5.5)$$

Sonuç olarak ölçüm değeri belirsizlik aralığıyla birlikte şu şekilde ifade edilmektedir;

$$x = x_b \pm s_x^- \quad (5.6)$$

Standart sapma ise ölçüm sayısı (N) orantılı olarak fazla değişiklik göstermeyebilir. Ancak, formülünden de anlaşılacağı gibi ölçüm sayısı arttıkça ortalamanın standart sapması azalmaktadır. Buradan da ölçüm sayısını arttırarak daha güvenilir sonuçlar elde edileceği, x_b değerinin daha düşük bir belirsizlik alanı ile gerçek sonucu yansıtacağı anlaşılmaktadır. Bu sebeple ölçüm sayısı sonsuza giderken elde edilen ölçme sonucunun rastlantısal hatalardan tamamen arınmış olduğu kabul edilmektedir. Ancak şu ana kadar yapılan hesaplamalarda

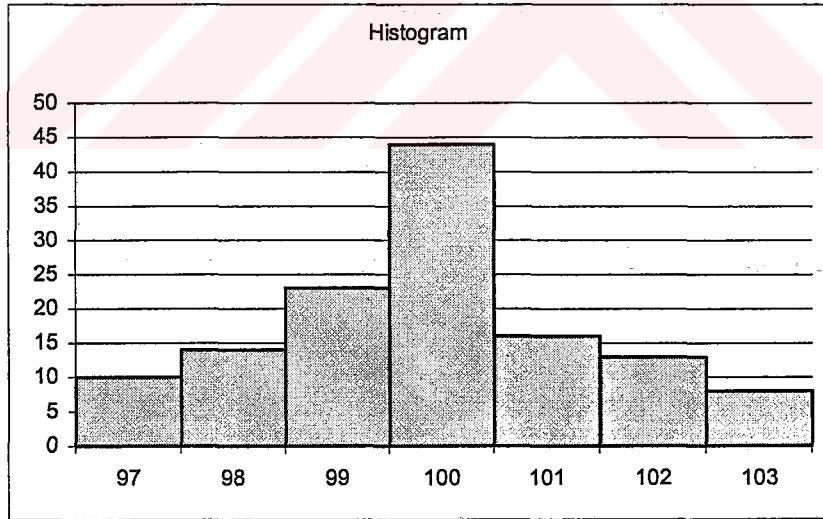
sistemik hatalar gözardı edilmiştir. Ölçüm sayısı, proses sistemik hatalardan arındırılmadan ne kadar artırılırsa artırılsın gerçekçi bir belirsizlik aralığı saptanamamaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

5.2 Frekans Dağılımları

Ölçme verilerinin kaydedilmesinde ve yorumlanmasında grafik teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Grafik gösterimlerin en yaygın ve en basit yollarından biri histogramlardır. Histogram aynı boyutlardaki tüm hataların bantlarla temsil edildiği böylece belli aralıklardaki hata faktörlerinin kaydedildiği bir grafiktir (Alan, 1991).

Histogram üzerinde gerektiğinde alt ve üst spesifikasyon limitlerinin belirtilmesi yolu ile kabul edilen ve reddedilen üretim miktarları izlenebilir veya verilerin normal dağılıp dağılmadığı izlenebilir. Sadece bir çeşit özellik gösterir. Basitçe yan yana getirilmiş birçok kolondan oluşmuş bir grafiktir. Genel olarak yedi ila on kolon arası oluşturulurlar.

Şekil 5.2’de bir histogram örneği gösterilmiştir. Görüldüğü gibi grafiğe bakarak ölçümlerin ne oranda istenilen spesifikasyonları sağladığı, ne oranda güvenli bölge dışında kaldığı basitçe anlaşılabilir (Durakbaşı, 2001; Müminoğlu, 1994).

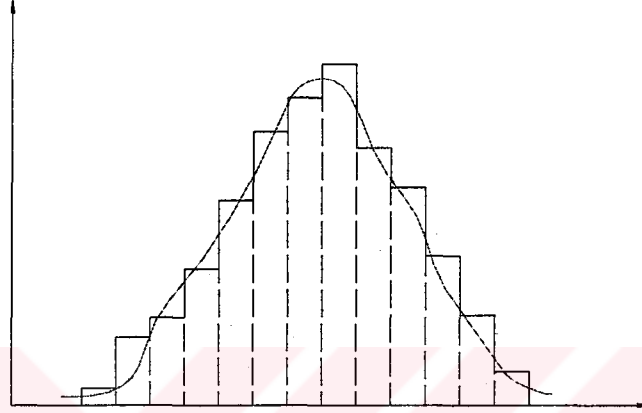


Şekil 5.2 Histogram grafiği

Şayet ölçüm sayıları arttırılırsa histogram bantlarının sayıları artmaktadır. Ölçüm sayısı sonsuza gidecek şekilde arttırılacak olursa bir dağılım grafiği ortaya çıkmaktadır. Bu grafiğin şekline göre birtakım matematiksel yaklaşımlarda bulunmak mümkündür. Frekans dağılımları arasında en yaygın kullanılanı normal dağılımdır. Normal dağılım grafiğinden analitik olarak,

tüm ölçümlerin aynı tekniklerle ve şartlarla yapıldığı bir durumda sonuçların %68'lik bir kısmının gerçek değerden bir standart sapma değeri kadar uzaklıkta yer alırlar sonucuna ulaşılmaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

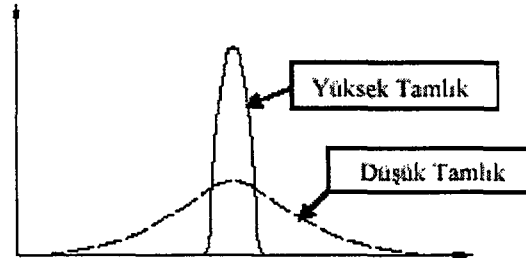
N sayıda yaptığımız ölçüm için $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ şeklinde ölçüm verilerinden ve herhangi bir fiziksel büyüklüğün gerçek ölçüm değerinin asla tam olarak belirlenemeyeceği kanunundan yola çıkarak gerçek değer olarak kabul ettiğimiz x_b değeri belirlenmektedir.



Şekil 5.3 Normal dağılım (Taylor ve Robert, 1997)

Dağılımların şekillerinin aşağı yukarı oluşabilmesi için 100 ile 1000 arası ölçüm gerçekleştirmek gerekmektedir. Ölçüm sayısı ne kadar yüksek olursa grafiğin eğrisi o derece düzgün olmaktadır. Ölçüm sayısı sonsuza giderken oluşan eğriye sınır eğrisi adı verilmektedir. Ölçüm sayısının pratikte hiçbir zaman sonsuza gidemeyeceği düşünülürse bu oldukça teorik bir şekildir, pratikte ise ölçüm sayısına ve histogramda belirlenen aralıklara göre bir sınır eğrisi oluşmaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

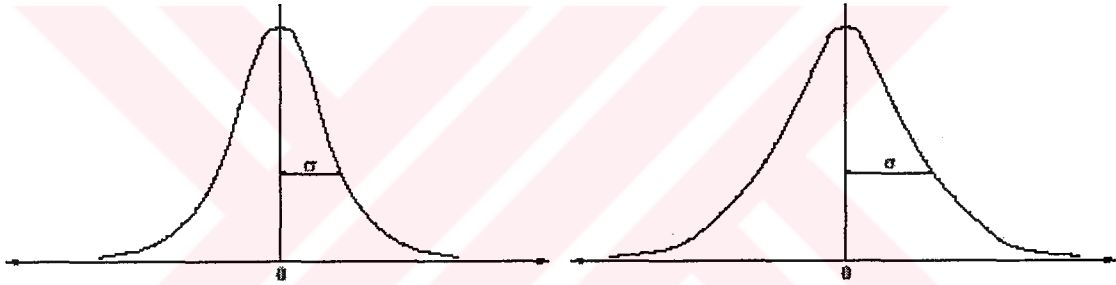
Ölçümlerin doğruluğu, tutarlılığı Şekil 5.4'de görüldüğü üzere eğrinin şeklini etkilemektedir. Bir çok ölçüm için sınır eğrisi simetrik ve çan formundadır. Çok düşük ölçüde rastlantısal hata ve ihmal edilebilecek sistematik hatadan etkilenen bir proses için diyagram daima çan şeklindedir ve gerçek değer eğrinin merkezinde yer almaktadır. Sistematik hataların daha etkin olduğu uygulamalarda ise gerçek değer merkezden sapma göstermektedir (Taylor ve Robert, 1997).



Şekil 5.4 Verilere göre eğrinin form değişimi (Taylor ve Robert, 1997)

Çan şeklindeki bu eğri normal dağılım veya Gauss eğrisi adını alır ve eğrinin fonksiyonu ise 5.7 numaralı denklemde gösterilmektedir.

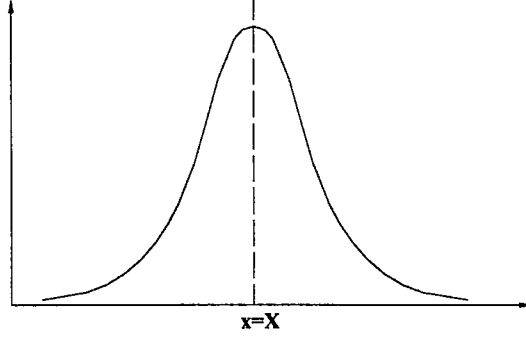
$$e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (5.7)$$



Şekil 5.5 Standart sapmaya göre eğrinin değişimi (Taylor ve Robert, 1997)

$x=0$ için fonksiyon 1'e eşittir. Normal eğrisi x 'in negatif ve pozitif değişimleri için aynı mutlak değeri almaktadır. Şekil 'de görüleceği gibi σ sapması büyükse değişim daha fazla olmaktadır. Bir $x=X$ noktasında merkezlenmiş bir Gauss eğrisi ise şu şekilde olmaktadır.

Dağılım $x=X$ noktasında zirveye ulaşmakta daha sonra simetrik olarak azalma eğilimi göstermektedir. Eğrinin fonksiyonu $e^{-(x-X)^2/2\sigma^2}$ şeklindedir. Eğrinin altındaki alanın 1 olması için aşağıdaki 5.8 numaralı eşitliğin sağlanması gerekmektedir;



Şekil 5.6 $x=X$ noktasına göre çan eğrisi (Taylor ve Robert, 1997)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x).dx = 1 \quad (5.8)$$

$$f(x) = N.e^{-(x-X)^2/2\sigma^2} \quad (5.9)$$

Burada formüle eklenen N normalleme katsayısı eğrinin şeklini veya $x=X$ noktasında maksimum yapmasını değiştirmemektedir.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x).dx = \int_{-\infty}^{+\infty} N.e^{-(x-X)^2/2\sigma^2}.dx \quad (5.10)$$

$x - X = y$ için $dx = dy$ dönüşümü yapılırsa,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x).dx = \int_{-\infty}^{+\infty} N.e^{-y^2/2\sigma^2}.dy \quad (5.11)$$

$y/\sigma = z$ için $dy = \sigma.dz$ denklemde yerine koyulursa,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x).dx = N.\sigma \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-z^2/2}.dz \quad (5.12)$$

İntegrali alırsak sonuç;

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-z^2/2}.dz = \sqrt{2\pi} \quad (5.13)$$

5.8 eşitliği 1'e eşit olduğuna göre eşitlik şu hale gelmektedir.

$$1 = N \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi} \quad (5.14)$$

Buradan da normalleme faktörünü çekersek,

$$N = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \quad (5.15)$$

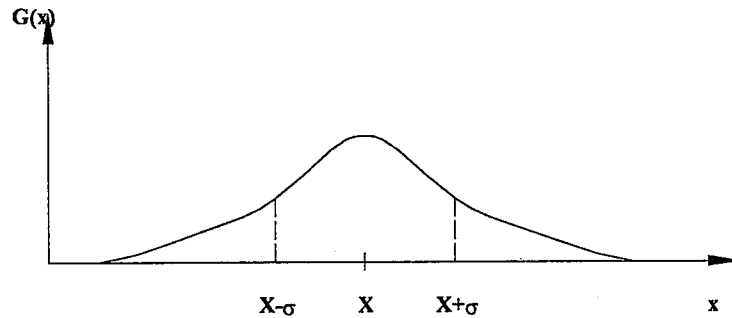
Elde edilen sonuçlar ışığında Gauss veya Normal dağılımın fonksiyonu şu hale gelir.

$$G_{x,\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(x-X)^2/2\sigma^2} \quad (5.16)$$

Normal dağılımın pratikte istatistiksel uygulamaların olduğu her yerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla numune alınarak yapılan ölçme, kalite kontrol vb. uygulamalarda yaygın bir kullanım alanı vardır. Sınırlı dağılımı $f(x)$, bir niceliğinin ölçümü için herhangi bir x değerinin sonuç olma olasılığını saptamamızı sağlamaktadır (Taylor ve Robert, 1997).

$$\int_a^b f(x) \cdot dx \quad (5.17)$$

Özellikle, 5.17 numaralı denklemin ölçüm için $a < x < b$ şartını sağlama olasılığını verir. Birçok uygulamada ölçüm sonuçları tam olarak Gauss dağılımı oluşturmasa da dağılımın Gauss dağılımı olduğu kabul edilir. Buna göre $f(x)$ fonksiyonu Gauss fonksiyonu olacak şekilde hesaplamalara geçilir. Gauss fonksiyonunun integralini kullanarak gerçek değer olarak kabul edilen X değerinden bir standart sapma uzaklıktaki sonuçların yüzdesini hesap etmek mümkündür (Taylor ve Robert, 1997).



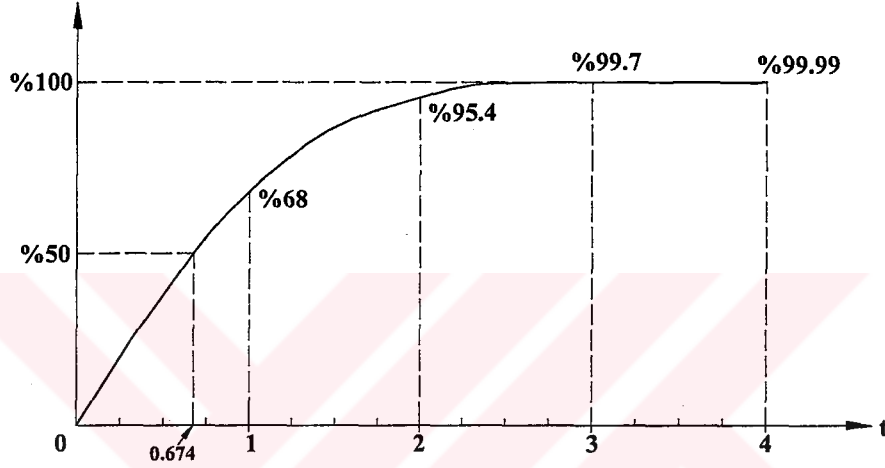
Şekil 5.7 Standart sapmanın katlarının toplam alandaki oranları (Taylor ve Robert, 1997)

Gauss fonksiyonunun belli aralıktaki integralini çözerek gerçek değer kabul ettiğimiz X

değerinden, standart sapmanın t katı ("t" pozitif bir sayı olmak üzere) kapsamında yer alan sonuçların yüzdesini hesaplamamızı sağlamaktadır.

$$t\sigma \text{ içinde olma olasılığı} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^{+t} e^{-z^2/2} .dz \quad (5.18)$$

İntegralin çözümü analitik olarak belirlenemezse de bir bilgisayarla hatta günümüzde bazı hesap makineleriyle çözüme ulaşmak mümkündür. İntegral fizikte hata fonksiyonu veya normal fonksiyonu olarak adlandırılır.



Şekil 5.8 Standart sapmanın katlarının bütüne göre yüzdelik oranları (Taylor ve Robert, 1997)

Çizelge 5.1 Standart sapmaların bütüne göre yüzdelik oranları

t	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4
% Olasılık	0	20	38	55	68	79	87	92	95.4	98.8	99.7	99.95	99.99

Sonuç olarak normal dağılımı veya Gauss fonksiyonu için şekil de görülen eğri oluşturulmuş olur. Şayet $X = X_{\text{best}} \pm \delta x$ ve $\delta x = \sigma$ ise ölçüm sonuçlarımızın %68 güvenceli olduğunu anlamış oluruz. Bununla birlikte tersten giderek yaklaşık %100 güvence için belirsizlik limitlerimizi de elde etmek mümkündür (Taylor ve Robert, 1997).

6. ÖLÇME CİHAZLARI ve ÖZELLİKLERİ

6.1 Ölçme Cihazları ve Temel Bileşenleri

Ölçme cihazları spesifik fiziksel niceliklerin değerlerini saptamak amacıyla kullanılan teknik ekipmanlardır. Ölçme cihazlarını ölçü, güç dönüştürücüler, gösterge sistemi, ölçme kurulumları ve ölçme sistemleri olarak incelemek mümkün olmaktadır (Semson, 2000).

Ölçü, verilen fiziksel bir büyüklük için bir veya daha çok bilinen değer türeten ölçme cihazıdır. Ölçüler kullanılırken ölçüm, bilinen ve türetilmiş bir nicelikle karşılaştırılır. Karşılaştırma değişik yollarla yapılabilir. Komperatör adıyla bilinen ölçme cihazı da bilinen bir hassasiyetle benzer fiziksel nicelikleri karşılaştırmak için kullanılmaktadır (Semson, 2000).

Güç dönüştürücüler ölçme verilerini transfer etmek, işlemek ve saklamak için uygun sinyallere dönüştüren elemanlardır. Güç dönüştürücülerin çıktısı olan veriler operatör tarafından direkt olarak anlaşılabilir. Karmaşık cihazların dönüştürücü ve transfer elemanlarının ayrı olmaları gerekmektedir (Semson, 2000).

Ölçüm güç dönüştürücüleri oldukça çeşitlidirler. (Termokopullar, direnç termometreleri, PH metrelerin ölçme elektrotları vb.) Analog girdi değerini farklı çıktı sinyalleri olarak veren ölçme güç dönüştürücüleri analog-dijital dönüştürücüler olarak adlandırılmaktadır. Bu dönüştürücüler dijital cihazların vazgeçilmez bir parçası olmaktadır. Ayrıca gösterge, düzenleme ve kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır (Semson, 2000).

Ölçme cihazının gösterge bölümü ölçme sinyallerini operatör tarafından gözlemlenebileceği bir şekle dönüştürmektedir. Girdi akımlarının dizaynından yola çıkarak söylenebilir ki gösterge de bir çeşit güç dönüştürücüdür. Ölçme cihazları şayet skala bir iğne vb. göstergeyle ölçüm süresince gösterim yapıyorsa analog cihaz, çıktıların dijital formda olması halinde ise dijital cihaz olarak adlandırılmaktadır (Semson, 2000).

Dijital cihazlarda veriler kolaylıkla kaydedilebilmekte ve bilgisayara girilebilmektedir. Bununla birlikte dizaynları dolayısıyla çoğunlukla analog cihazlarınkilerden yüksek tamlik değerlerine ulaşırlar. Ayrıca dijital cihazlarla okuma hataları ortadan kalkar. Ancak analog cihazların kullanımı ve çeşitli ölçümler yapıldığında yargılamalarda bulunmak daha kolaydır. Analog ve dijital cihazların iyi özelliklerini birleştirmek için analog bağımsız ölçme cihazları geliştirilmiştir (Semson, 2000).

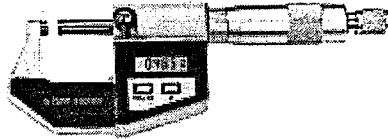
Çoğu ölçme cihazı sonuç verilerini kaydedecek biçimde dizayn edilmiştir. Veriler zaman içinde bağımsız ölçme sonuçlarının devamlı kaydı olarak veya belli bir seriye bağımlı olarak kaydedilebilmektedir. Birtakım ölçme cihazları kontrol veya ayarlama için foto optik elemanlar, temas elemanları barındırabilirler (Semson, 2000).

Ölçme kurulumu fonksiyonel ve yapısal olarak tümleşik ölçme cihazlarının ve yardımcı cihazların birleşimidir.

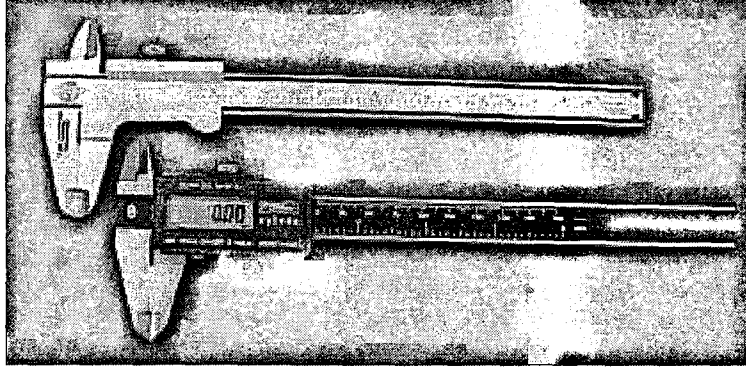
Ölçme sistemi ise fonksiyonel olarak birleşmiş ölçümlerin, ölçüm verileri elde etme elemanlarının, verileri kullanıcıya faydalı olacak şekle dönüştürme, işleme ve kontrol sistemine girme sistemlerin birleşimidir. Modern ölçme sistemleri ayrı mikro işlemciler veya bilgisayarlar içererek kendi ölçme sistemlerini kontrol edebilirler. Sonuç olarak her sistem amaçlarını yerine getirebilecek birimlere sahip olmalıdır (Semson, 2000).

6.2 Ölçme Cihazı Tipleri

Ölçme bilimi fiziksel, kimyasal çok geniş bir yelpazede kullanım bulması dolayısıyla birçok değişken nicelik için çok sayıda farklı ölçme cihazları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında özellikle otomotiv sanayindeki üretim süreçleri ve bunların kontrolü üzerine çalışıldığından daha çok boyutsal ölçme cihazları konu edilecektir. Boyutsal ölçme cihazlarını genel olarak konvansiyonel ölçme cihazları ve modern ölçme cihazları olarak sınıflandırmak mümkündür. Konvansiyonel ölçme cihazları olarak kumpas, mikrometre, mastar, cetvel vb. uzunluk ölçme cihazları, blok, komperatör, gönye vb. açı ölçme cihazları pertometre vb. yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazları sayılabilmektedir. Bu cihazlar tamamen mekanik veya basit dijital sistemlerle tümleşik olarak çalışabilmektedirler. Tamamen mekanik cihazların çözünürlükleri skalalarıyla orantılıdır. Tamlıkları ise cihazın yapısına, kullanımına, bakımına, kalibrasyonuna göre değişim göstermektedir. Dijital kumpaslarla 0,01 mm çözünürlüğe ve $\pm 0,03$ mm. tamlık değerine ulaşabilmek mümkündür. Dijital mikrometrelerle ise 1 mikron çözünürlükle ölçüm yapılabilmektedir (Alan, 1991).



Şekil 6.1 Dijital mikrometre [2]



Şekil 6.2 Analog ve dijital kumpas [3]

Modern ölçme cihazları kendi işlemcileriyle işlem yapabildikleri gibi diğer PC'lerle de bağlantılı olarak çalışabilmektedirler. Sistem başlangıçta "bilgisayar destekli ölçme sistemi" olarak anılmıştır. Bugünün sanal ölçme sistemlerinde ölçme cihazının tüm fonksiyonları gelişmiş veri işleme kabiliyetiyle grafiksel olarak kullanıcı arabirimine transfer edilmektedir. Yazılım yalnızca osiloskop, spektrum analiz cihazı vb. standart cihazlarla kullanılmasının yanısıra orijinal fonksiyon ve sistemlerin dizaynına, buna bağlı olarak ölçülecek objenin karakteristiklerine göre esnek çalışma sistemleri oluşturulmasına imkan vermektedir (Takayama ve Kariya, 2003).

Cihazların genel olarak iki çeşit kullanımı görülmektedir. Birinci uygulamada sanal sistem standart ölçme cihazından farksız olarak kullanılmaktadır. Bu durumda operatör, bilinen bir ölçme işlemini hedef objeye uygulamaktadır. Böylece fiziksel karakteristiklerin saptanması, ölçme sistemleri dizaynı, ölçme metodu, veri işlemesi vb. sonuçlar elde edilmektedir. Diğer uygulamada ise sanal ölçme sistemi bir simülasyon programı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem bağımsız ölçme sistemleri, ölçme metotları, veri işlemleri elde etmede kullanılmaktadır (Takayama ve Kariya, 2003).

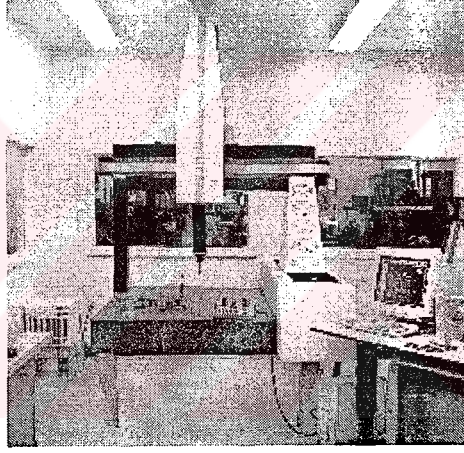
Son yıllarda endüstriyel çevrelerde daha da yaygın olarak kullanılan sanal cihazları standart cihazlara göre birçok üstün özelliklere sahiptir.

- Esneklik, tekrar kullanılabilir
- Taşınabilme imkanı vardır, aynı anda birçok değişik niceliği ölçebilir
- Kullanımı kolaydır
- Tek çalışan ünitelere göre daha hesaplıdır (Nuccio ve Sparato, 2001).

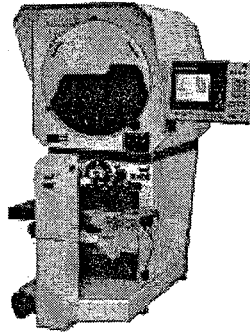
Üstün özelliklerinin yanında yüksek tamlıkları modern ölçme cihazlarının geniş kullanım alanı bulmasını sağlamıştır. Bugün ölçme cihazlarının dünya çapında 100 milyar euro'luk bir

pazarı vardır. İleri teknoloji ürünleri, nano mertebesinde ölçme çözünürlüklerinde ve diğer fiziksel büyüklükler için yüksek hassasiyet gerektirmektedirler. Çeşitli form ve çalışma aralıklarında koordinat ölçme cihazları, optik ölçme cihazları, lazer ölçme cihazları vb. modern cihazlar işletmelerin kalite sistemleri gereksinimlerinin sağlanabilmesi için yüksek fiyatlarına rağmen geniş kullanım alanı bulmaktadır (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003; Nuccio ve Sparato, 2001).

Günümüzde ölçme cihazları imalat sistemleriyle tamamen tümleşik çalışmaları için bu modern cihazların kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Özellikle koordinat ölçme cihazları, modern imalat mühendisliğinde sürekli artan bir öneme sahiptirler. Bu ölçme cihazları sayesinde herhangi bir kompleks geometrik şekle sahip olan, diğer cihazlarla ölçülmesi zor veya imkansız birçok iş parçasını hassas, esnek, çabuk ve objektif olarak ölçmek mümkün olmaktadır (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003).



Şekil 6.3 Köprü tipi koordinat ölçme cihazı [4]



Şekil 6.4 Optik projektör [5]

Sanal cihazların temel bileşenleri güç dönüştürücüler, sinyal şartlandırıcılar, veri alma

kartları, genel amaçlı bir PC ve uygun yazılım programıdır. Ölçme zincirinde her bir blok belirsizlik oluşturmaktadır (Nuccio ve Sparato, 2001).

6.3 Ölçme Cihazlarının Metrolojik Karakteristikleri

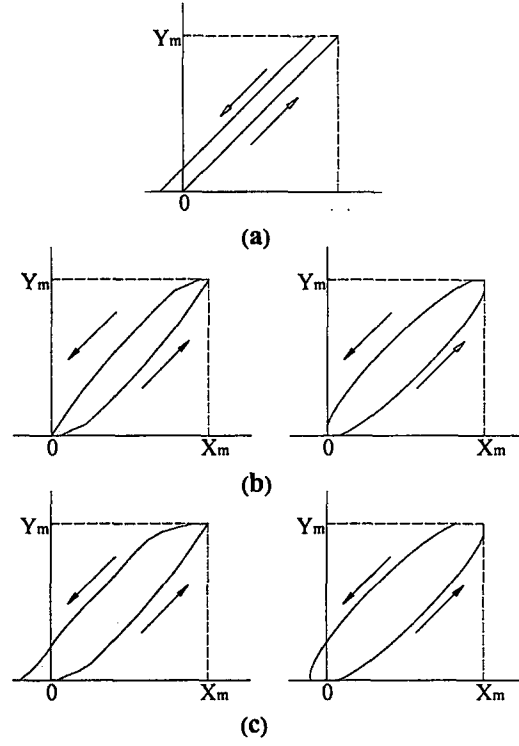
Her teknik cihazın karakteristik özellikleriyle tanımlanması mümkün olmaktadır. Ölçme cihazının tüm karakteristiklerini metrolojik, yani cihazı uygun amaç için istenilen şekilde kullanmamızı sağlayan karakteristikler ve ikincil karakteristikler olarak iki başlık altında toplamak mümkün olmaktadır. Ağırlık, boyutlar, nem, kir vb. etkenlerden korunma derecesi gibi ileri özellikler eklenebilmektedir. İkincil karakteristikler ölçüm tamliğini direkt olarak etkilemedikleri halde bazı hallerde cihazın seçimini ve kullanılmasını belirleyen faktörlerdir.

Ölçme cihazının metrolojik karakteristikleri, cihazın ölçüm değerini bilinen aralıkta ve tamlıkta saptamasına ve ölçmedeki belirsizlikleri değerlendirmesine uygunluğunu yargılamayı mümkün kılan özellikler olarak tanımlanmaktadır.

Bu karakteristiklerden bahsetmeden önce ideal bir ölçme cihazının sahip olması gerekli özelliklerden bahsetmek yerinde olacaktır. Basit olarak herhangi ideal bir teknik cihazın dizayn değerlerine uygun olması yeterliyken ölçme cihazlarında bu tatmin edici olmamaktadır. Ölçme cihazları ölçüme göre düzeltme faktörü etkisine sahip olmalıdır. Bu etki hazırlanabilecek bir şey değildir ve büyük ölçüde standartlardan saptanır.

İdeal bir ölçme cihazının metrolojik özellikleri o cihaz için nominal metrolojik özellikler olarak tanımlanmaktadır. Cihazların gerçek karakteristikleri ise fabrikasyon hataları, düzeltme özelliklerinin zamanla değişimi vb. sebeplerle nominal metrolojik özelliklerden farklı olurlar. Örnek verecek olursak, ideal bir güç dönüştürücünün yalnızca ölçüm değeri veya fark girdi verileri parametreleri için sinyal göndermesi ve bu sinyallerin skalaya ulaşana kadar hiçbir dış etkenden etkilenmemesi gerekmektedir. Bazı ölçme cihazlarının çıktı sinyallerinin dış etkilerden veya hatalardan kaynaklanabilecek sapmaları etki fonksiyonu denilen fonksiyonel bir bağıntıyla tanımlanabilir. Etki fonksiyonu bir grafik veya formül şeklinde olabilir. Lineer bir bağıntının olması durumunda bir katsayı veya çıktı nicelikleriyle etki değerleri arası oranın belirlenmesi yeterli olmaktadır. Bu katsayı etki katsayısı olarak tanımlanmaktadır (Semson, 2000).

Ölçme cihazında rastlantısal hatalar hareketli parçalarının desteklerinden ve histerisisten kaynaklanmaktadır. Hata sınırları deneysel çalışmalarla yaklaşık olarak saptanabilmektedir.



Şekil 6.5 Ölçme cihazında sürüklenme ve histerisis hatası (Semson, 2000)

Şekil 6.5'deki grafiklerde apsis eksenini girdi değerlerini ordinat eksenini ise çıktı değerlerini göstermektedir. Bu durumda ölçme cihazımızın X_m girdi değeri, Y_m çıktı değeridir. a grafiği sürüklenme görülen bir cihaz için çizilmiştir B grafiğinde iki değişik histerisis, c grafiğinde ise sürüklenme ve histerisis etkileri birlikte gösterilmektedir.

Ölçme cihazları bir niceliği belirli olarak tanımlamak, benzer niceliklerle arasında ilişki oluşturmak amacıyla yapılmışlardır ve belirsizlikler birçok değişik etkenden ortaya çıkar. Bu sebeple yeni bir ölçme cihazı geliştirilirken yapılması gerekli en önemli çalışma cihazın rastlantısal hatalarını mümkün mertebe azaltmak, ihmal edilebilecek değerlere düşürmektir. Şayet rastlantısal hatalar minimize edilmiş ve ölçüm tamlığını belirleyen elemanlar doğru çalışıyorsa, ölçme cihazı doğru kalibre edilerek, verilen standart düzeltme faktörleriyle kullanıldığında ekipmanın hassasiyeti daima kontrol altında tutulabilir (Semson, 2000).

Hassasiyet, ölçme cihazına gelen farklı girdi değerleri için çıktı değerinin değişim oranıdır. Hassasiyet bir nominal metrolojik karakter ve gerçek cihaz için geçerli bir özelliktir.

Eşik farkı, çıktı değerinde fark edilebilir minimum değişikliğin olmasını sağlayacak girdi miktarıdır.

Çözünürlük, çıktı değerinde fark edilebilir en düşük değişim miktarıdır.

Kararsızlık, ölçme cihazının özelliklerinin zaman içinde bozulma oranını anlatan genel bir terimdir.

Sürüklenme, verilmiş bir ölçme cihazını kullanırken ölçme süresinden daha uzun bir zaman periyodu sonunda çıktı sinyallerinde değişiklik olmasıdır.

Sürüklenme ve kararsızlık girdi verilerinden veya yükten bağımsız ortaya çıkarlar ancak dış etkenlere bağlı olabilirler.

Ölçme cihazının dinamik karakterleri de metrolojik karakterlere katılmaktadır. Bu özellikleri tanımlamak doğru cihazı seçmek ve kullanmak için gerekli olmaktadır.

6.4 Ölçme Cihazının Metrolojik Karakteristiklerinin Standartlaştırılması

Herhangi bir ölçme cihazının metrolojik özellikleri iki şekilde saptanabilir. Birinci metot spesifik olarak cihaz için tüm karakteristiklerin belirlenmesidir. İkinci metot ise nominal metrolojik karakteristikler ve nominal karakteristiklerden normal karakteristiklere izin verilen değişimlerin belirlenmesidir.

İlk metot laboratuvarlarda tatbik edilir yüksek tamlıkta ve kararlı cihazlar için kullanılır. Bu nedenle ikinci metot daha yaygın olarak kullanılır. Nominal karakteristikler ve izin verilen dağılımlar cihazın dizaynında saptanmış ve teknik belgelerde tanımlanmıştır.

Cihazı kullanırken yapılan kontroller aygıtın gerçek karakteristik sapmalarının nominal saptamalara uygunluğunu sınamayı amaçlamaktadır.

Tasarımcıların çalışmalarına rağmen ölçme cihazlarının gerçek karakteristikleri bir takım dış etkenlere bağlıdır. Bu sebeple cihazlar belirli çalışma aralıklarında denenerek bu sapma etkileri belirlenmek istenir. Bu işlem belli çevre koşullarında yapılır ve bu koşullar referans şartlar olarak anılırlar. Referans şartlarda saptanmış ölçme cihazı hatası iç hata olarak adlandırılmaktadır.

Herhangi dış etkinin, normal değere veya referans şartlarına etkimesi halinde ölçme cihazının hata faktörü değişmektedir. Bu değişim izin verilebilen hata değerlerine göre düzeltme faktörünün mümkün olan maksimum değeriyle veya normal operasyon koşullarında müsaade edilebilir hata değerleriyle karakterize edilmekte ve standartlaştırılmaktadır (Semson, 2000).

Ölçme cihazı hataları yalnızca mutlak ve bağıl hata şeklinde belirtilmemektedir. Ölçme cihazının mutlak hata değerinin standart hata değerine oranı hata mukayese oranı olarak

tanımlanmaktadır. Bu değer değişik ölçme limitlerine sahip cihazların karşılaştırılmasını mümkün kılmaktadır.

Ölçme sistemine etki eden ağırlık, elektrik direnci gibi pasif nicelikler sistematik hatalardan, voltaj, akım vb. dinamik nicelikler ise sistematik ve rastlantısal hatalardan birlikte etkilenmektedirler. Bununla birlikte anahtar elemanların devrede olması dolayısıyla pasif etkenler de rastlantısal hatalardan aranamamaktadır.

Ölçme cihazının kararlılığı tamlık gibi pozitif bir özelliktir.

6.5 Ölçme Cihazları Hatalarının Standartlaştırılması

Standardizasyon yapılmadan önce ölçme cihazı için yapılan çalışmanın söz konusu problemleri çözmekte ne kadar yardımcı olacağına saptanması gerekmektedir. Standartlaşmanın ana amacının problemlerin çözümünde kolaylık sağlamak olduğu açıktır. Ölçme cihazları için bu problemler şunlardır;

- Söz konusu ölçme cihazıyla aynı tipteki tüm aygıtların aynı tamlık değerine gereksinim duyduğunun, bunların üniform ve değiştirilebilir (interchangeable) olduğundan emin olmak
- Ölçme cihazından kaynaklanan hatalarının, cihazın metrolojik özelliklerine uyacak şekilde değerlendirilebileceğinin saptanması.
- Ölçme cihazlarının başka cihazlarla tamlık karşılaştırılması yapılabilmesine imkan vermesini.

İlk problem yeni ölçme cihazlarının imalat prosesi boyunca izlenmesi ve kullanımdaki ünitelerin periyodik olarak kontrol edilmesi ile genel olarak çözülmüştür.

İkinci problemin başarıyla çözülmesi için ölçme cihazının özelliklerinin tam olarak bilinmesi istenmektedir. Bu sebeple oluşturulan standardın cihazın gerçek karakteristiklerine mümkün mertebe yakın olması gerekmektedir. Ölçme cihazı üzerindeki hataların tanımlanabilme derecesi cihazın kararsızlığıyla sınırlanmaktadır. Hata değerleri zaman içinde cihazın dizaynı ve imalat teknolojisiyle tanımlanan değişen karakteristiklerle birlikte değişecektir. Kalibrasyon prosesinin basit olması gereklidir. Uzun kontroller ve laboratuvar çalışmaları gerektiren prosesler çoğunlukla tutarsız olurlar (Semson, 2000).

Ölçme cihazının hata hesaplamaları gerçek çevre koşulları altında yapılması birçok günlük oluşturmaktadır. Bu sebeple referans şartların genişletilerek değişik dış etkenlerin tetiklediği hata faktörlerinin elimine edilmesi tavsiye edilmektedir.

Ölçme cihazının karakteristik özellikleri standardize edilme metoduna göre değişim göstermemektedir. Belirlenmesi gerekli iki temel değer bulunmaktadır. Birincisi cihazın iç hata sınırı, ikincisi ise normal operasyon koşulları için verilen etki değerine göre belirli aralıklar içinde standart değerden sapmaya sebebiyet veren ek hata sınırıdır. Bununla birlikte ek hataya sebep olacak etkenlerin simülasyonlarla çalışılması ve tüm etkenlerin tamamen standardize edilmesi önemli olmaktadır.

6.6 Ölçme Cihazlarının Dinamik Karakteristiklerinin Sınıflandırılması

Dinamik karakteristikler ölçme cihazında çıktı sinyalinde değişime neden olan veya sinyali değiştirecek başka bir etken ortaya çıkararak özelliklerdir. Diferansiyel denklem, transfer fonksiyonu, faz frekans tepkisi, darbe vb. karakteristikler girdi sinyallerinde veya diğer etkilerde değişimlere sebebiyet vererek çıktı sinyalini zamanla değiştirmektedirler. Tam dinamik bir karakteristiğin bir parametresi veya fonksiyonu kısmi dinamik karakteristik olarak tanımlanmaktadır.

Bazı ölçme cihazları dinamik karakteristiklere sahip olmamaktadır, bazıları ise bağımsız dinamik karakteristikleri yoktur ve ancak her zaman belli bir direnç ve indüktansa sahip olan elektrik devrelerine bağlandıklarında dinamik özellikler kazanırlar.

Ölçme cihazları yelpazesi oldukça çeşitlidir. Çoğu zaman dinamik faktörlerini tanımlamak için yüksek derecelerin lineer denklemleri, lineer olmayan denklemler veya dağılım parametreleri kullanılır. Bu denklemler nadiren çok karmaşık olurlar. Sonuç olarak ölçme cihazları hassas bir işlem olan ölçme için yapılmışlardır ve yüksek niteliklere sahiptirler. Otomatik bir çizim cihazı dizayn edilirken kısa zaman aralıklarında hızlı tepkiler alınması göz önünde bulundurulmalıdır. Cihazın skalası lineer olmalıdır. Tüm şartlar dikkatlice analiz edilerek yapılan bir dizayndan sonra cihaz için dinamik karakteristikler basit bir ikinci dereceden denklemle tanımlanabilir. Ölçme cihazlarının dinamik karakteristiklerinin standardizasyonu özel cihazlarla yapılmaktadır. Sorunlar iki aşamalı olarak ele alınmaktadır. İlk safhada dinamik karakteristik seçilmekte daha sonra nominal karakteristikler ve izin verilebilen dağılımlar saptanmaktadır. Böylece dinamik karakteristiklerden biri kayıt cihazları ve universal ölçme güç dönüştürücüler için standartlaştırılmaktadır. Lineer birinci veya ikinci derece denklemlerle tanımlanabilen karakteristiklere sahip ölçme cihazlarında denklemlerin tüm katsayılarını standartlaştırılması mümkün olabilmektedir. Aynı bir sorunsu ölçme cihazının dinamik karakteristiklerini cihaz kullanılırken saptayabilmektir (Semson, 2000).

7. GUM'A GÖRE BELİRSİZLİKLERİN SAPTANMASI

7.1 GUM'un Amacı ve Kapsamı

Belirsizliklerinin İfadesi Rehberi (GUM), ISO TS 14253-2:1999 ile birlikte endüstrinin ihtiyaçlarına uygun geometrik mamul özelliklerine göre ölçüm cihazları kalibrasyonu ve iş parçası karakteristiklerinin nasıl saptanacağını ve ölçüm sonuçları - belirsizlik karşılaştırması hakkında bir kaynaktır. Bu çalışma ölçme cihazının metrolojik karakteristikleri için toleranslara, iş parçası karakteristiklerine, izin verilebilecek maksimum hata değerlerine göre düzenlenmiştir.

Belirsizliklerin saptanmasında uygulanmak üzere GUM'a göre Belirsizlik yönetim prosedürü (Procedure of Uncertainty Management, PUMA) adıyla bir prosedür oluşturulmuştur. GUM'un temel içeriğinde bir değişiklik yapmadan gerçekleştirilen değerlendirilme işlemiyle belirsizlik için raporlar oluşturulur. Bu raporlar aşağıda sıralanan amaçlarda kullanılmaktadır.

- Tek belirsizlik sonucu elde etmek
- İki veya daha fazla sonucun karşılaştırılması
- Bir veya daha fazla iş parçasından veya ölçme ekipmanından alınan ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (Ölçüm standartlarının veya ölçme cihazının metrolojik karakteristiklerine göre izin verilebilir maksimum hata ve iş parçası için tolerans limitleri ve güvenilirliğin tespit edilmesi)

GUM sonuç olarak ölçme sonucu üzerinde etkin tüm sistematik sapmaların ve diğer olası etkenlerin tanımlanmasını ve buna bağlı olarak sonucun düzeltilmesini öngörmektedir. Ancak birçok uygulamada, özellikle değerlendirme logaritmik hesapların ortalamasından yapılmışsa, kaynağı ne olursa olsun belirsizlikleri saptamak ve saptanan değerlerin final sonucu üzerindeki etkilerine ulaşmak kolay olmamaktadır (Locci vd., 2002).

Analitik pencereden bakıldığında herhangi bir nicelik belirsizlik değeri hatta daha ileri olarak standart hata faktörü ile desteklenmediği takdirde fazla bir şey ifade etmemektedir. Verilere ulaşmanın en temel yolu aynı koşullar altında ölçüm sayısını arttırmaktır. Ancak bu bir laboratuvar çalışmasıdır ve basit bir ölçüm için bile muazzam bir süreye gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple pratik çalışmalarda daima diğer yöntemlerden sonuca ulaşılma yollarına gidilmektedir (Faber, 2001).

Tekrarlama metodu basitçe bir üst sınır değeri belirleme çalışmasıdır. Ölçüm sonuçlarından kaynaklanan hataların giderilmesi gerekmektedir. Tekrarlama metodu işletmeyi maksimum

kar ve minimum maliyete götüren bir metroloji yöntemidir. Prosedürü ekonomik olarak kendi kendini düzeltebilir ve ayrıca ölçümde varolan belirsizliğin, metroloji maliyetlerinin düşürülmesi yardımıyla azaltılmasında kullanılmaktadır. Yöntem belirsizlik değerlerinin tahmininde, saptanmasında, belirsizlik raporunun (belirsizlik bütçesi) oluşturulmasında, risk, işgücü ve maliyet optimizasyonu sağlamaktadır.

7.2 Belirsizliklerin Saptanmasında GUM'un Temel Kavramları

GUM metodunun uygulamasıyla U_C , konvansiyonel gerçek ölçme belirsizliği bulunmaktadır. ISO/TR 14253-2'nin basitleştirilmiş tekraralama metodu, ölçme belirsizliklerin tahminini belirsizlik bileşenlerinin maksimum etkilerinin saptanmasıyla gerçekleştirilmektedir ($U_E U_C$). Üst sınır prosedürü, bilinen veya kabul edilen belirsizlik elemanlarının alabileceği maksimum değerleri bularak, en kötü şartların etkilerini oluşturmakta, böylece gerçek ölçme belirsizliklerinin tahmin edilenin altında kalmasını ve güvenli bölge sınırlarında olmasını sağlamaktadır. İteratif metot şu faktörler üzerine kurulmuştur.

- Tüm belirsizlik etkenleri tanımlanmıştır.
- Her bir belirsizlik etkeni standart belirsizlik olarak değerlendirilir (U_{xx}) ve belirsizlik bileşeni olarak tanımlanır.
- Her bir belirsizlik bileşeni A tipi veya B tipi olarak değerlendirilebilir.
- B tipi belirsizliklerden, mümkün olduğu takdirde ilk değerlenmede kaba bir belirsizlik değeri saptanarak bu verilerle ön değerlendirme ve maliyet tasarrufu yapılmak istenmektedir. Tüm belirsizlik etkeni faktörlerinin etkisi aşağıdaki formülle birleştirilmektedir;

$$U_C = \sqrt{u_{x1}^2 + u_{x2}^2 + u_{x3}^2 + \dots + u_{xn}^2} \quad (7.1)$$

- Bu formül yalnızca doğrudan ölçme yöntemi için geçerlidir ve bileşenlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir.
- Bileşenler arası bağlantı olduğu durumlarda katsayı $p=1,-1,0$ alınmaktadır. Eğer bileşenlerin birbirlerinden bağımsız olduğu bilinmiyorsa her bileşenin tam bağımlı olduğu kabul edilmekte ve katsayı 1 veya -1 alınmaktadır. Bağlantılı bileşenler formülde yerine konmadan aritmetik olarak toplanmaktadırlar.
- Genişletilmiş belirsizlik U bir k güvenlik faktörüyle çarpılarak hesaplanmaktadır ($k=2$ güvenlik faktörü).

$$U = k \times U_C \quad (7.2)$$

- Basitçe, tekrarlama metodu, belirsizlik birleşenlerin değerlendirilmesinin en az iki kez yapılmasından ibarettir. İlki kaba, hızlı, ucuz bir işlemdir. Amacı en büyük bileşenlerin belirlenmesidir. Bunu takip eden tekrarlar en büyük bileşenlerin yüksek tamlıkta bir üst limit belirlemesini yaparak daha düşük belirsizlik değerlerine, kabul edilmesi muhtemel büyüklere ulaşmayı amaçlamaktadır (ISO TS 14253-2, 1999).

Tekrarlama metodu iki amaç için kullanılır.

- Ölçümün belirsizliğinin, verilmiş bir ölçme prosesinin sonucu için yönetimi
- Bir ölçme prosesi için yapılan belirsizlik yönetimi, uygun ölçme prosesinin belirlenmesi.

Belirsizlik analizlerinde bilgisayar simülasyonları kullanmak daha kolay görülsede analitik yöntemlerin iki temel avantajı vardır. İlk olarak analitik denklemler düzenlendikten sonra simülasyonlardan çok daha hızlı sonuç verirler. İkinci üstünlük ise hata kaynakları üzerinde yorum yapabilmemize imkan vermeleridir. Sürekli gelişim çerçevesinde bir mühendis için hata kaynaklarını yorumlamak, buna göre analiz çalışmaları, değerlendirmeler gerekirse dizayn değişiklikleri, prosedür değişiklikleri yapmak işin temelidir (Faber, 2001).

7.3 Belirsizlik Yönetimi Prosedürü (Procedure of Uncertainty Management, PUMA)

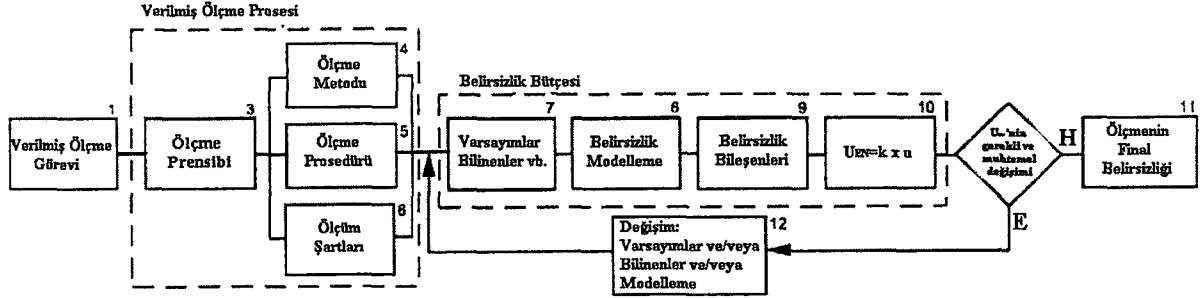
Belirsizlik bütçesi ve yönetimi için temel ön şart ölçüm görevinin tamamen tanımlanmasıdır. Ölçmenin belirsizliği ölçüm değerinin, iş parçasının karakteristik tanımlarına veya ölçme ekipmanının geometrik mamul özellikleri standartlarında verilen metrolojik karakteristiklerine uyma kalitesinin bir ölçütüdür. Geometrik mamul özellikleri standartları konvansiyonel gerçek değerlerin karakteristiklerinin küresel standartlarla ölçülmesini tanımlamaktadır. Ayrıca geometrik mamul özellikleri standartları birçok uygulamada ideal veya konvansiyonel gerçek ölçüm prensiplerini, ölçüm metotlarını, ölçüm prosedürünü ve standart referans şartlarını tanımlamaktadır. Karakteristiklerin standartlaştırılmış konvansiyonel gerçek değerlerinden sapmalar ölçme belirsizliklerini arttırmaktadır.

7.3.1 Verilmiş Ölçme Prosesi İçin Ölçme Belirsizliği Yönetimi

Verilmiş ölçme görevi ve mevcut ölçme prosesi için ölçme belirsizliği yöntemi Şekil 7.1'de tanımlanmıştır. Ölçme prensipleri (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 kutusu için veri gereklidir, U_R verilebilmekte yada seçilebilmektedir.

GUM tekrarlama metodunu kullanırken yapılan ilk tekrarlama yalnızca bir genel yaklaşım

içindir ve baskın belirsizlik etkenlerini saptamayı amaçlamaktadır. Uygulamada ölçme prosesinde yapılacak işlem bu baskın belirsizlik etkenlerinin ayklanarak, belirsizlik birleşenleri tahminlerini gerçek değere mümkün mertebe yaklaştırmak, böylece üst sınır değerini fazla yüksek olmasını önlemektir.



Şekil 7.1 Verilmiş proses için ölçme belirsizliği yöntemi (ISO TS 14253-2, 1999)

İşlemin akışı aşağıda tarif edildiği gibidir;

- İlk değerlendirme doğrudan ölçme metoduna göre yapılarak, basit olarak belirsizlik raporu hazırlanmaktadır. Bu rapor kaba olarak genişletilmiş belirsizliğin saptanmasında kullanılmaktadır. Tüm değerlendirmeler olabilecek maksimum değere göre yapılmaktadırlar.
- İlk ölçme belirsizliği tahmini talep edilen ölçme belirsizliği değeriyle mukayese edilir. Şayet U_{E1} kabul edilebilir sınırlardaysa ($U_{E1} \leq U_R$) ilk belirsizlik raporu verilmiş ölçme prosesinin ölçme görevi için yeterli olduğunu kanıtlamaktadır. Şayet U_{E1} istenilen değer üzerindeyse yada istenen bir sabit belirsizlik yok, yalnızca daha düşük ve doğru bir değer isteniyorsa tekrarlama prosesine devam edilmektedir.
- Yeni işleme geçilmeden önce belirsizlik etkenleri büyüklüklerine göre analiz edilmektedir. Birçok uygulamada az sayıda belirsizlik bileşeni, birleşik toplam belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik üzerinde baskın etkiye sahiptir.
- Yapılan kabulleri değiştirerek yada belirsizlik birleşenleri hakkında bilgileri artırarak baskın belirsizlik birleşenleri için daha yüksek tamlıkta bir üst sınır tahmini yapılır. Belirsizlik tahmin prosesini daha detaylı bir modelle veya daha yüksek çözünürlüklü bir ölçme prosesıyla değiştirilir.
- Ölçme belirsizliğinin daha düşük ve daha yüksek tamlıkta belirlenmesini sağlayacak rapor için ikinci tekrarlama yapılır.
- İkinci belirsizlik tahmini istenilen değerle karşılaştırılır. Şayet U_{E2} kabul edilebilir

düzeyde ise belirsizlik raporu verilen ölçme prosesinin ölçme görevi için yeterli olduğunu kanıtlamaktadır. Şayet U_{E2} değeri istenilen değer üzerinde ise veya daha düşük bir değer arzulanıyorsa üçüncü ve belki de devam edecek şekilde tekrarlamaya yönteminin devamı gerekmektedir. Bu arada belirsizlik bileşenlerinin analizi özellikle o andaki en büyük belirsizlik etkenlerini içine alacak şekilde devam etmektedir.

- Şayet bütün olasılıklar, imkanlar kullanıldığı halde istenilen U_R değerinden küçük veya eşit, yüksek tamlıkta bir üst sınır belirsizlik tahmini yapılamıyorsa bu belirsizlik hedefine ulaşmanın mümkün olmadığı kabul edilmektedir.

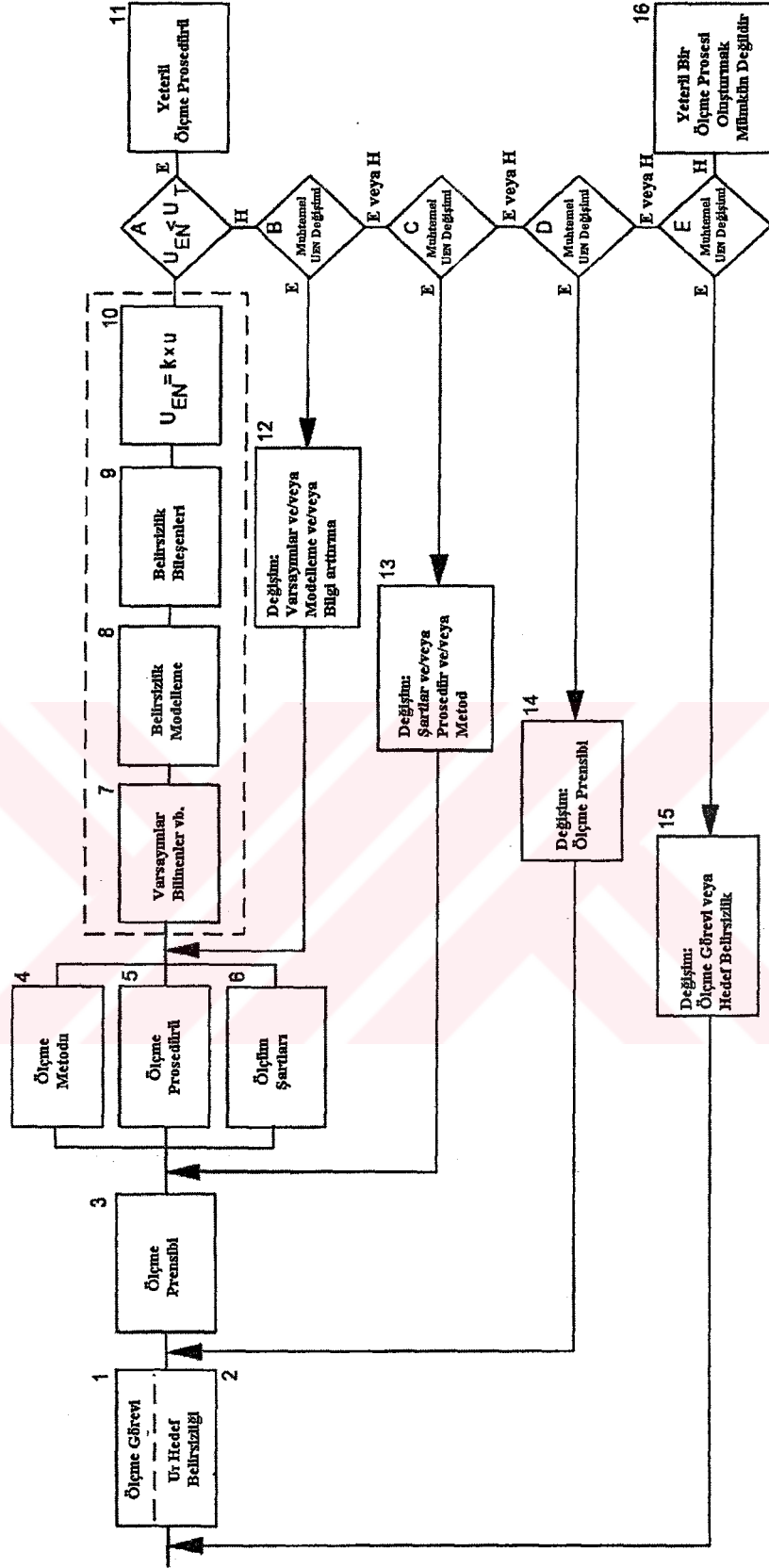
7.3.2 Ölçme Prosesi/Prosedürünün Gelişmesi ve Dizaynı İçin Belirsizlik Yönetimi

Burada yönetim iş parçasının GPS karakteristiklerine veya ölçme cihazının metrolojik karakteristiklerine uygun bir ölçme prosesi belirlemeyi amaçlamaktadır. Yapılacak ilk iş verilen U_T 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. Şayet yapılan değerlendirme hedef belirsizliğin çok altındaysa ölçme prosedürü tanımlanan ölçme görevi için ekonomik olarak uygun bir prosedürdür denilemez.

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

- İşletmenin uygun ölçme cihazları ve temel deneyimlerden yola çıkarak ölçme prensiplerinin seçilmesi.
- İşletmenin imkanları ve tecrübesi temel alınarak başlangıç için bir ölçme metodu, ölçme prosedürü ve ölçüm şartları belirlemesi yapmak ve bunları belgelemek.
- İlk değerlendirme doğrudan ölçme modeline göre yapılarak basit temel bir belirsizlik raporu oluşturulmalıdır. Bu rapor kaba olarak genişletilmiş belirsizliğin saptanmasına imkan vermektedir.
- İlk belirsizlik tahmini hedef belirsizlikle karşılaştırılır. Şayet U_{E1} kabul edilebilir seviyedeysse belirsizlik raporu ölçme prosesinin ölçme görevi için uygun olduğunu belirtir. $U_{E1} \ll U_T$ ise metodun veya prosedürün yada her ikisinin birden değiştirilmesi gerekebilir. Ancak proses yeterli olmakla beraber ölçme görevi için optimum, ekonomik değildir. Belirsizliği arttıracak şekilde değişiklikler yapılması gerekmektedir.



Şekil 7.2 PUMA prosedürü (ISO TS 14253-2, 1999)

- Daha sonra yeni bir değerlendirme yapılmalıdır. U_{E1} istenilen değere ulaşırsa tekrarlama

prosesi devam eder veya uygun bir ölçme prosesi olmadığı kabul edilir.

- Yeni değerlendirmelerde önce belirsizlik birleşenleri analiz edilir, baskın olanlar belirlenir.
- $U_{E1} > U_T$ halinde yapılan kabuller değiştirilir, modelde bir değişime gidilir veya belirsizlik bileşenleri hakkında daha çok bilgi edinilir. En büyük belirsizlik bileşeni için yüksek tamlıkta bir üst sınır tahmini gerçekleştirilir.
- Daha yüksek tamlıkta ve daha düşük boyutta üst sınır tahmininin yapılması için ikinci bir değerlendirme yapılır.
- İkinci belirsizlik tahmini hedef belirsizlikle karşılaştırılır. Şayet U_{E2} kabul edilebilir değerdeyse ikinci tekrardan elde edilen verilerle oluşturulmuş belirsizlik raporu, ölçme prosesinin ilgili ölçme görevi için yeterli olduğunu kanıtlar. Şayet U_{E2} istenilen hedef belirsizliğin üzerinde ise üçüncü ve gerekliyse diğer tekrarlamalara geçilir, belirsizlik etkenleri tekrar analiz edilir.
- Şayet 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 yeniden başlar.
- Şayet metot, prosedür ve şartlarda yapılan değişimler bizi istediğimiz hedef belirsizliğin altına veya ona eşit bir değere götürmezse ölçme prensibi değiştirilmek suretiyle prosedürden tekrar başlanır.
- Ölçme prensibi ve bununla alakalı tekrarlar da bizi aradığımız değerlere götürmezse yapılması gereken ölçme görevini ve/veya hedef belirsizliği değiştirmek ve prosedürden yukarı tekrar başlanır.
- Şayet ölçme görevi veya hedef belirsizlik değişimi mümkün değilse uygun bir ölçme prosesinin mevcut olmadığı ispat edilmiş olmaktadır.

7.4 Belirsizlik Bileşenleri, Standart Belirsizlik ve Genişletilmiş Belirsizliği Saptama

Belirsizlik bileşenleri A tipi değerlendirme ve B tipi değerlendirme olarak iki şekilde saptanmaktadır. A tipinde belirsizlik bileşenleri, u_{xx} , istatistiksel olarak işleme girmektedirler. B tipinde ise istatistik dışı yöntemler uygulanmaktadır.

A tipi değerlendirme birçok uygulamada yüksek tamlıkla belirsizlik bileşenlerini belirlemektedir. B tipi değerlendirme ise A kadar olmasa da tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bu sebeple tekrarlama metodunda belirsizliklerin A tipi değerlendirilmesi gerekli

olmadığı hallerde B tipi değerlendirme uygulanmaktadır. Bazı uygulamalarda A tipi değerlendirme tek alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

7.4.1 Belirsizlik Bileşenleri İçin A tipi değerlendirme

A tipinde belirsizlik bileşenleri u_{xx} tekrarlanan ölçümlerden veriye gereksinim duymaktadırlar. Dağılımın standart sapması veya gerçek değerın standart sapması formüllerle hesaplanabilmektedir.

7.4.1.1 İstatistiksel Gereçler

Önceki bölümlerde tanımlanan ortalama değer gerçek değer olarak kabul edilmektedir. Standart sapma değeri az sayıda tekrarlanmış ölçüm sonucundan hesaplanırsa, sapmanın gerçek değerinin bulunmaması ve çok düşük bir değer alması muhtemeldir. Bu sebeple “h” güvenlik katsayısı kullanılır. h, “Student’s t” değerinden hesaplanmaktadır.

Çizelge 7.1 %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 7.2 Ölçüm sayısına göre h güvenlik katsayısı

Ölçüm Sayısı, n	Güvenlik Katsayısı, h
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2
10	1

Sapma değeri bu Çizelge 7.2’den okunarak, 7.1 numaralı denklemde yerine konmalı ve sonuç

belirsizlik bileşeni olarak rapora geçmelidir.

$$u_{xx} = s_{x,n} \times h \quad (7.3)$$

7.4.2 Belirsizlik Bileşenleri İçin B Tipi Değerlendirme

Standart sapma değerinin istatistiksel olmayan yöntemlerle çoğunlukla daha önceki deneyimlerle sınırlandırılması veya basitçe 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 olarak belirlenmektedirler. Bu sınır değerlerden standart sapmaya geçmek için sistematik metotlar uygulanabilmektedir.

7.4.2.1 Hata Limitleri İçin Dönüşüm Gereçleri

Sınır değişimi a olarak 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.

$$u_{xx} = a \times b \quad (7.4)$$

Deneyimler göstermiştir ki birçok uygulamada standart sapma için değişim limitlerinin dönüştürülmesinde 3 temel dağılım kullanılması yeterlidir.

Şekil 7.3'de belirsizlik bileşenlerine geçiş için kullanılan dağılımlar verilmiştir. Gauss dağılımında standart sapma değeri iki kez sınır değer olarak kullanılmaktadır. Üç dağılım için b değerleri aşağıdadır.

Gouss: $b=0.5$

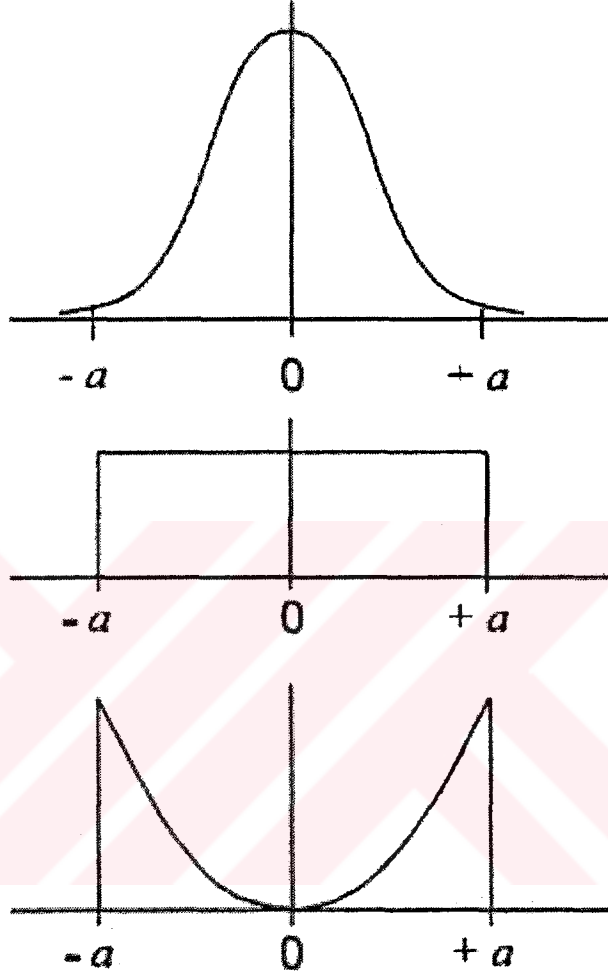
$$u_{xx} = \frac{a}{2} = 0.5 \times a \quad (7.5)$$

Dikdörtgen dağılım: $b=0.6$

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 0,58 \times a \approx 0,6 \times a \quad (7.6)$$

U dağılım: $b=0.7$

$$u_{xx} = \frac{a}{\sqrt{2}} \approx 0,71 \times a \approx 0,7 \times a \quad (7.7)$$



Şekil 7.3 Normal dağılım, dikdörtgen dağılım ve U dağılım (ISO TS 14253-2, 1999)

B tipi 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 aşikardır. Böyle olmadığı nadir hallerde kabuller yapılmaktadır. Gauss olmadığı biliniyorsa dikdörtgen veya U dağılımı seçilmektedir. Şayet 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.

7.4.3 A ve B Tipi Değerlendirmeler İçin Tipik Örnekler

Aynı Belirsizlik Bileşeninin Değerlendirilmesi İçin Deneysel veya Limit Değer: Tekrarlanan ölçümlerden alınan veriler A tipinde kullanılabileceği gibi B tipinde de kullanılabilir. Aynı ölçüm verisi veri-ayar değeri civarında limit değerler kullanarak B tipi belirsizlik bileşeni değerlendirmesinde kullanılabilir.

Tekrarlanabilirlik: Her belirsizlik raporunda tekrarlanabilirlik teriminden en az bir kez bahsedilmektedir. Birçok uygulamada bu ancak deneysel olarak bulunabilmektedir (A tipi değerlendirme). Belirsizlik bileşeni ölçüm ekipmanı okumasının kararlılığından s_x , $s_{\bar{x}}$ formülleri kullanılarak sağlanmaktadır.

Tekrarlanabilirlik kaynaklı belirsizlik ölçme ekipmanı 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.

$$u_{xx} = \frac{d}{2\sqrt{3}} \approx \frac{d}{2} \times 0,6 \approx 0,3 \times d \quad (7.8)$$

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.

$$u_{xx} = MPE \times b \quad (7.9)$$

b ise Şekil 7.3'de verilen dağılımdan ortaya çıkar. Kalibrasyon verisi alındığında bunları dağılım tipini bulmak için kullanmak olduğu gibi nadir uygulamalarda belirsizlik bileşeninin direkt olarak A tipi değerlendirme ile hesaplanması mümkün olabilmektedir.

Düzeltilmeler: Hatalar, ER, büyüklükleri ve işaretleri bilindiği takdirde bir c düzeltme katsayısıyla ölçüm sonucu denkleştirilebilmektedirler. Düzeltme yapıldığı takdirde dahi 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 metrolojinin sorumluluğudur. Hatanın düzeltilme kriteri ekonomidir.

$$c = -ER \quad (7.10)$$

Sürüklenme bilinen bir hata olarak kabul edilip düzeltilebilir.

Histerisis: Histerisis, h, ölçme ekipmanında simetrik hata/belirsizlik olarak alınabilmektedir. Şayet yeterli veri varsa belirsizlik bileşeni A tipi değerlendirme ile saptanmakta veya B tipi değerlendirme için 7.11 numaralı formül kullanılmaktadır.

$$u_{xx} = \frac{h}{2} \times b \quad (7.11)$$

Buradaki b değeri 7.4.2.1 bölümünde verilen kaidelere ve dağılıma göre seçilmektedir.

Baskın Nicelikler (Ölçme Yönü, Ölçme Kuvveti, Sıcaklık): Ölçümler belli sayıda baskın niceliğin etkisi altındadır ve bunlar ölçülen objeyi ve ölçüm cihazını etkiler. GMÖ ölçümlerinde karşılaşılan baskın nicelikler ölçüm yönü, ölçüm kuvveti ve sıcaklıktır. Baskınlık genişlikten başka bir fiziksel değerle tarif edilmektedir.

Ölçümün Tanımı: GMÖ ölçmelerinde, ölçüm iş parçasının ölçme ekipmanı ve ölçme standartları için GMÖ karakteristikleri ve metrolojik karakteristikleridir.

Bu ölçümler GMÖ standartları olarak tanımlanırlar. Birçok uygulamada ölçme prosedürü kasten veya tesadüfen karakteristiklerin tanımı ile uyum göstermemektedir. Bir çok uygulamada ölçüm prosedüründeki bu sapmalar ölçüm sonucuna hata ve belirsizlik olarak yansımaktadırlar. Hatalar biliniyorsa düzeltme yapmak mümkün olabilmektedir. Pratikte ölçme prosedürü daima ölçümün tanımlanmasıyla bağlantılı belirsizliklerle sonuçlanmaktadır.

Kalibrasyon Sertifikaları: Kalibrasyon sertifikaları ölçüm değerleri için metrolojik karakteristikleri ve ölçümle bağlantılı belirsizlikleri 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.

$$u_{xx} = \frac{U}{k} \quad (7.12)$$

Bazı kalibrasyon organizasyonları a , k 'nin varsayılan değeri olduğunu standardize etmiştir. Bu şartlarda sertifikada güvenlik katsayısı değeri belirtilmez.

Belirsizlik U_v değeriyle gösterilir ve güvenilirlik sınırı %95 veya %99'dur.

$$u_{xx} = \frac{U_v}{m} \quad (7.13)$$

burada m standart sapmalardaki güvenilirlik aralığının olması gereken değere ulaşması için kullanılan düzeltme sayısıdır.

Kalibrasyon sertifikaları bazen yalnızca belli bir ekipmanın tanımlanan spesifikasyonlarının 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 (ısı genleşme katsayısı, elastiklik modülü, poisson sayısı vb.) baskın hata değerinin dönüşümü veya değerlendirilmiş ancak yüksek tamlıkla bilinmeyen belirsizliklerin tahmini yapılmaktadır.

7.4.4 Doğrudan Ölçme ve Dolaylı Ölçme Modelleri ile Belirsizlik Değerlendirmesi

Aynı ölçüm prosesi için belirsizlik birçok uygulamada birkaç model veya detaya göre değerlendirilir. İki model için uygulamalar aşağıdaki gibidir.

Doğrudan ölçme modelinde toplam ölçme prosesi miktarı bilinmeyen bir değer olarak modellenir. Belirsizlik raporu ve belirsizlik bileşenleri yalnızca ölçüm prosesindeki toplam etkiyi tarif eder. Bu model seçimi belirsizlik bileşenleri ile hata etkenleri arasındaki fonksiyonel ilişkinin saptanmasını güçleştirir.

Belirsizlik raporundan tamamen faydalanmak için modelin açılması ve daha detaylı bir rapor hazırlanması gerekebilir. Buradan birkaç daha küçük modellemeler 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 modelinde belirsizliklerin değerlendirilmesinde girdi ve çıktı değerleri aynıdır, belirsizlik bileşenleri arttırıcı kabul edilir ve belirsizlik bileşenlerinin toplamının 0 olması beklenir. Direkt ölçme modelinin PUMA metodunda amacı, tüm baskın değerlerin ölçüm üzerindeki etkilerinin indirgenmektir. Bu nedenle her bir belirsizlik bileşeninin hassaslık katsayısı 1'e eşittir.

Dolaylı ölçme modeli için belirsizlik değerlendirmesi, belirsizlik bileşenlerinin sınırları kesin değildir.

7.4.5 Direkt Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması-Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi

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

$$Y = X + C \quad (7.14)$$

X ölçüm cihazından okunan değer ve C ise her bir sıcaklık, kalibrasyon, deformasyon düzeltmesi vb. etkenlerden gelen toplam düzeltme katsayısıdır.

Ölçmenin birleştirilmiş standart belirsizliği şu denklemle bulunur:

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + \sum_1^p u_i^2} \quad (7.15)$$

p ilişkilendirilmiş belirsizlik etkenleri sayısı

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

$$u_r = \sum_1^r u_i \quad (7.16)$$

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

Direkt ilişkilendirilenler aritmetik olarak eklenirler. İlimli bir değerlendirme için tamamen bağımsız olmadığı bilinen belirsizlik etkenleri direkt ilişkili kabul edilir.

7.4.6 Dolaylı Ölçme Metoduyla Belirsizlik Saptanması – Belirsizlik Bileşenlerinin Birleşik Standart Belirsizliğe Çevrilmesi

Dolaylı ölçme modeli ile belirsizlik saptanmasının metodu ölçüm değerinin birkaç ölçüm değerinin fonksiyonuyla ki her bir değer kendide bir fonksiyon içerebilir modellenmesidir.

$$Y = G(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{p+r}) \quad (7.17)$$

Ölçmenin bileşik standart belirsizliği verilen denklemle çıkartılır:

$$u_c = \sqrt{u_r^2 + \sum_{i=1}^p \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} x u_{xi} \right)^2} \quad (7.18)$$

u_r ölçüm belirsizliğinin direkt bağlantılı etkenlerinin toplamı:

$$u_r = \sum_{i=1}^r \frac{\partial Y}{\partial X_i} x u_{xi} \quad (7.19)$$

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

u_{xi} i saydaki ölçüm değerinin birleşik ölçme standart belirsizliği, 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.

Bağımsız ölçme belirsizliği bileşenleri geometrik olarak, direkt ilişkili bileşenler aritmetik olarak eklenir.

İlimli bir değerlendirme için tamamen bağımsız oldukları bilinmeyen tüm bileşenler direkt ilişkili alınır.

Belirsizliğin bağımsız bileşenlerinin sayısı p'dir.

Y'nin dolaylı ölçme modeline göre tespitinde toplamda p+r adet bileşen vardır, herbiri belirsizlik bileşenleri sayısının kombinasyonu olabilir.

7.4.7 Birleşik Standart Belirsizlikten Genişletilmiş Belirsizliğin Saptanması

Ölçmenin genişletilmiş belirsizliği U , GMÖ ölçmelerinde şu şekilde hesaplanır:

$$U = u_c \cdot k = u_c \cdot 2 \quad (7.20)$$

Özellikle belirtilmediği takdirde GMÖ ölçümleri için güvenlik katsayısı $k=2$ alınmaktadır.

7.4.8 Ölçme Belirsizliği Parametrelerinin Doğası

Ölçmenin belirsizlik bileşenleri ve birleşik belirsizliği, sırasıyla standart belirsizlik u_x ve u_c olarak gösterilir. GMÖ ölçümlerinin endüstriyel pratik uygulamalarında belirsizlik bileşenleri değişken ve sabit etkenlerin belli bir zaman aralığındaki karıştırılmasıdır. Ölçümün belirsizliği düzeltilmeyen sistematik hataları da içerir. Tüm sistematik hataların düzeltilmesi mümkün değildir.

Bu sebeple bir çok uygulamada, u_c ve U sabit bilinmeyen hatalar olarak kabul edilir.

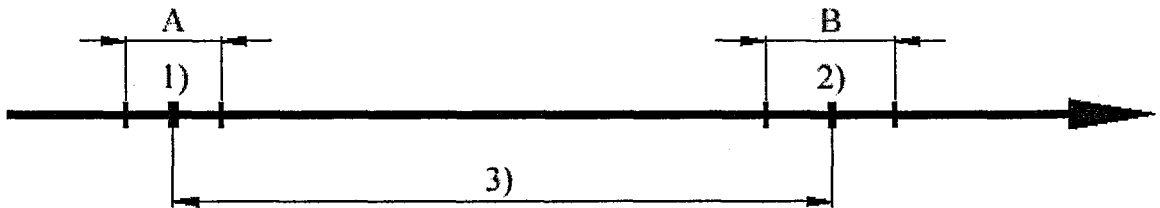


8. PRATİK BELİRSİZLİK DEĞERLENDİRMESİ – PUMA ile BELİRSİZLİK BÜTÇESİ OLUŞTURULMASI

8.1 Belirsizlik Raporu Ön Şartları

Belirsizlik bütçesinin oluşturulabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir:

- Ölçme görevi tamamen tanımlanmalıdır. Ölçme cihazı karakteristikleri veya iş parçası karakteristikleri tanımlanıp görev olarak gösterilmelidir.
- Belirsizlik raporu tek bir belirli ölçme sonucu için düzenlenmektedir. Tek bir ölçme sonucu bir grup ölçüm sonucu için tanımlayıcı alınabilmektedir.
- Sırasıyla önce ölçme prensibi, sonra ölçme metodu ve son olarak da ölçme prosedürü tamamen tanımlanmalı, her biri için ayrı, eski çalışmalar gözden geçirilmeli veya en azından bir ön çalışma, taslak yapılmalıdır.
- Ölçme cihazının seçimi de ölçüm prosedürü içindedir. Ölçme prosedürü ölçüm boyunca cihazın iş parçası üzerine yerleştirilmesinden başlayarak işlemin tüm seyrini anlatır. Belirsizlik raporu prosedür aktivite ve adımlarını göstermektedir.
- Ölçüm şartları tamamen tanımlanmalı, önceki çalışmalarda bilinen değerlere göre veya en azından bir ön çalışma, taslak yapılmalıdır.
- Referans noktası, sıfır noktası saptanmalıdır. Birçok uygulamada ölçüm cihazının sıfır noktası seçimi kalibrasyon prosedürü dahilinde bir aktivite olmaktadır. Belirsizlik, sıfır noktası veya referans noktası ayarlamalarıyla bağlantılıdır.
- Ölçme cihazının okunmasında, iş parçasının veya ölçme cihazının ölçüm karakteristikleri ölçülmelidir.
- Ölçme cihazının referans noktasından ölçüm noktasına hareketi belirlenmelidir. Hareketin hata ve/veya belirsizliği cihazın kalibrasyonundan bilinebilmektedir.



Şekil 8.1 Ölçmenin üç elemanının modeli (ISO TS 14253-2, 1999)

1) Referans noktası

2) Ölçme noktası

3) Ölçme cihazının hareketi

A Referans noktasının belirsizlik aralığı

B Ölçme noktasının belirsizlik aralığı

Ayrıntılı ölçme görevlerinde ölçülebilen karakteristikler iki veya daha fazla ölçümden, ekipman bir hata aralığıyla karakterize edilmişse aynı tür basit ölçümlerle hesaplanmakta ve değerlendirilmektedir. Birçok uygulamada belirsizlik bütçesi basit ölçmelerle, birkaç kalibrasyon değerlerinden biri için hazırlanabilmektedir. Ölçülecek karakteristikle alakalı belirsizlik basit ölçüm değerinin belirsizliğinden yapılan hesaplamalarla değerlendirilmektedir.

8.2 Belirsizlik Bütçesi Oluşturmanın Standart Prosedürü

- Ölçme görevinin ve basit ölçme değerlerinin belirsizlik raporunun hazırlanması için tanımlanması ve belgelenmesi gerekmektedir.
- Ölçme prensibinin, ölçme metodunun, ölçme prosedürünün ve ölçme şartlarının belgelenmesi. Hepsi tamamen bilinmiyorsa bir ön çalışma veya prensip taslağı, metod taslağı, prosedüre ve ölçüm şartları taslakları üst sınır değerlendirmesine göre hazırlanmalıdır.
- Ölçüm kurulumunun bir grafik tanıtımı oluşturulmalıdır. Bu şekil belirsizlik etkenlerinin anlaşılmasına faydalı olmaktadır.
- Ölçülmüş değerlerin ve ölçüm görevinin tüm karakteristikleri arasındaki matematiksel ilişkilerin belgelenmesi yapılmalıdır. Matematiksel ilişki, ölçme görevi direkt ölçme modeli ile çözümlenebiliyorsa normal olarak gerekli görülmemektedir.
- Tüm olası hata etkenlerinin bir ön soruşturmaya alınması, basitçe analiz edilmesi ve belgelemesi oluşturulmalıdır. Bu sınıflandırmada aynı belirsizlik etkeninin birden fazla yer almaması gerekmektedir, ancak pratikte bu mümkün olmamaktadır. Prensip, baskın etkenlerin daha önemli olarak raporda öncelikli yer almasıdır. Çizelge 8.1'de iki çözünürlük seviyesi mevcuttur. Bu seviyeler belirsizlik modelinin henüz oluşturulmadığı ilk PUMA değerlendirilmesinden önce kullanışlı bir ön hazırlık safhası olmaktadır. Düşük çözünürlükte tek bir doğrudan ölçme modeli kullanılmıştır. Yüksek çözünürlükse doğrudan ölçme yerine daha ayrıntılı direkt veya dolaylı ölçme modelleriyle yeni bir planlama yapılmalıdır. Yorum kolonu şartlar, belirsizlik bileşenleri hakkında ön yorumlar, kararlar vb. bilgi eklemek için kullanılmaktadır. Yorum kolonu bir not defteri gibidir.

Çizelge 8.1 Belirsizlik bileşenlerinin belirsizlik bütçesinde isimlendirilmesi ve genel tanıtımı

Düşük Çözünürlükle Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	İsim	Yorumlar
u_{XX}	u_{Xa}	Xa' nın İsmi	Xa belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
	u_{Xb}	Xb' nın İsmi	Xb belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
	u_{Xc}	Xc' nın İsmi	Xc belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
		XX toplamının İsmi	XX belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
u_{YY}	u_{Ya}	Ya' nın İsmi	Ya belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
	u_{Yb}	Ya' nın İsmi	Yb belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
		YY toplamının İsmi	YY belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.
u_{ZZ}		ZZ' nin İsmi	ZZ belirsizlik etkiyle alakalı yorumlar, kabuller, genel gözlemler, bilgiler, vb.

- Hazırlanan tablodaki veriler baz alınarak gerçek değerlendirme adımları için belirsizlik modellemesi araştırılır.
 - A tipi veya B tipi değerlendirmenin seçilmesi.
 - Belirsizlik bileşenlerinin değerlerinin saptanması, zemin hazırlanması için belgeleme ve tartışmalar yapılması.
 - A tipi değerlendirme yapıldığı takdirde, baz alınan ölçümlerin sayılarının ve değerlerinin ifade edilmesi.
 - B tipi değerlendirme yapıldığı takdirde, sınır değerinin, kabul edilen dağılım ve belirsizlik bileşenlerinin sonuçlarının ifade edilmesi.
- Belirlenmiş belirsizlik bileşenlerinin birbirlerinden bağımsız olup olmadıklarının araştırılması.
- Modele, bileşenlerin ilişkilerine göre uygun formüllerin seçilmesi ve bileşik standart sapmanın hesaplanması, u_c
- Genişletilmiş belirsizliğin çıkarılması.
- Belirsizlik raporundaki tüm anahtar bilgileri içeren özet bir tablo hazırlanması. Belirsizlik değerlerini değiştirebilecek muhtemel değişiklikler araştırılmalı, gerekliyse yeni tekrarlamalar için zemin hazırlanmalı. Özellikle ekonomik bir değerlendirme olması sağlanmalıdır. Çizelge 8.2'de örnek bir tablo gösterilmektedir.

Çizelge 8.2 Belirsizlik bütçesi özet bilgi çizelgesi örneği

Bileşen İsmi	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer ⁽¹⁾ a*	Sınır Değer a (µm)	Düzeltilme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni u_{xx} (µm)
u_{x_a} , Xa ismi	A		10			0		1.6
u_{x_b} , Xb ismi	B	Gauss		1.9	1.9	0	0.5	0.95
u_{x_c} , Xc ismi	B	Dörtgen		3.42	3.42	0	0.6	2.05
u_{y_a} , Ya ismi	A		15			0		1.2
u_{y_b} , Yb ismi	A		15			0		0.6
u_{z_a} , Za ismi	B	U		10°C	157	0	0.7	1.1
u_{z_b} , Zb ismi	B	U		15°C $\alpha_1/\alpha_2=1.1$	60	0	0.7	0.42
Birleşik Standart Belirsizlik, u_c								3.29
Genişletilmiş Belirsizlik, (k=2), U								6.58

8.3 Prosedürün Uygulanması

GMÖ ölçümleri için normal bir belirsizlik raporunda denklem aşağıdaki gibi oluşmaktadır. Belirsizlik bileşenleri çıkış merkezlerine göre gruplandırılmıştır.

$$u_c = \sqrt{u_{MPEx}^2 + \dots + u_{Mx}^2 + \dots + u_{Bx}^2 + \dots + u_{Ox}^2 + \dots + u_{Ex}^2 + \dots} \quad (8.1)$$

$$U = u_c \times k \quad (k=2) \quad (8.2)$$

Bu gruplar temel olarak aşağıdaki gibidir:

- Ölçme ekipmanı (ölçme standardı) $u_{MPE1}, u_{MPE2}, u_{MPE3}, \dots$
- Çevre $u_{M1}, u_{M2}, u_{M3}, \dots$
- Personel/kadro $u_{B1}, u_{B2}, u_{B3}, \dots$
- Ölçme kurulumu $u_{O1}, u_{O2}, u_{O3}, \dots$
- Ölçme objesi (iş parçası veya ölçme cihazı) $u_{E1}, u_{E2}, u_{E3}, \dots$
- Objenin karakteristiklerinin tanımlanması $u_{D1}, u_{D2}, u_{D3}, \dots$
- Ölçme prosedürü $u_{P1}, u_{P2}, u_{P3}, \dots$

Deneyimler bir çok uygulamada, diğer gruplardaki değişim ufak ise belirsizlik bileşenlerinin farklı gruplarının her gruba etki göstermediğini göstermektedir. Bu sebeple denklem mutlak veya bağıl ölçme belirsizliğinde bir yada birden fazla grubun diğerleri üzerindeki baskınlığını saptamada kullanılmaktadır.

Ayrıca belirsizlik raporunu dönüştürerek bir veya daha fazla gruptaki ekonomik şartların, etkilerin değişimine erişmek mümkün olmaktadır. Buradan belirsizlik raporu ile belirsizlik bileşenlerinin ekonomik baskınlığı saptanabilmektedir.

Alt başlıklarda belirsizlik raporunun PUMA metoduna göre yapılan bir uygulaması anlatılmaktadır.

8.3.1 Belgeleme ve Belirsizlik Değerinin Saptanması

Bu çalışmanın uygulama kısmında belirsizlik raporuyla var olan bir ölçüm veya kalibrasyon prosesi için bir belirsizlik değeri saptanabildiği bir çok uygulama ile ispatlanmıştır.

8.3.2 Ölçme ve Kalibrasyon Prosesinin Dizaynı ve Belgelenmesi

Ölçme ve kalibrasyon prosesinin optimizasyonu ve belgelenmesi, PUMA metodu teknik ve/veya ekonomik kriterlerle kalibrasyon prosesi veya ölçme için optimizasyon yapma ve belgeleme olanağı sağlamaktadır.

Ölçme prosedürlerinin ve direktiflerinin geliştirilmesi, ölçme prosedürlerinin ve belirsizlik raporunun gelişimi paralel olmaktadır. PUMA metodu her bir alt prosedürü belirsizlik etkilerini merkez alacak şekilde analiz etmeye fırsat vermektedir. Bu da ölçme prosedürünün ve ilgili direktiflerin geliştirilmesini ve optimizasyonunu sağlamaktadır.

Kalibrasyon prosedürünün ve direktiflerinin geliştirilmesi, kalibrasyon prosedürleri ve belirsizlik raporunun gelişimi de birbirlerine paralel olmaktadır. PUMA metodu alt prosedürleri belirsizlikler üzerindeki etkilerini merkez alacak şekilde analiz etmeye fırsat vermektedir.

İkincil ölçme metotlarının ve cihazlarının nitelikleri ve zayıflıkları, bir çok uygulamada ölçüm karakteristiklerinin tanımlarına uyan ideal ölçme cihazları fazla pahalı veya fazla yavaş olmaktadır. Ölçme objesinin şekil ve açısal sapmalarının analizi sonucu ve belirsizlik raporundaki baskınlığının araştırılması, ikincil ölçme metotlarının nitelendirilmesine imkan vermekte ve maliyetleri düşürmektedir.

Ölçme cihazının nitelikleri ve kurulumu, bir ölçme cihazının veya ölçüm ayarlarının ölçme belirsizliği üzerindeki etkileri belirsizlik raporundan görülebilmektedir. Tüm diğer etkenler sabit alındığı takdirde, birleşik standart belirsizlik sonucu istenilen hedef değeri sağladığı an, ölçme cihazı ve ayarları ölçme görevi için nitelikli olmaktadır.

En doğru ölçme kabiliyeti uygulanması, BMC, en iyi ölçme kabiliyeti şirket veya laboratuarda özel bir ölçme görevi için mümkün olabilecek en düşük belirsizlikle yapılan ölçüm olarak tanımlanmaktadır. Belirsizlik raporunda tüm belirsizlik bileşenleri minimize edildiği takdirde BMC değeri elde edilmektedir.

8.3.3 Kalibrasyon Hiyerarşisinin Dizaynı, Optimizasyonu ve Belgelenmesi

Kalibrasyon hiyerarşisinin dizaynı: Belirsizlik bütçesinin denklemsel sonucu şirket veya kalibrasyon laboratuvarı için kalibrasyon hiyerarşisinin iki seviyesi arasında fonksiyonel bir ilişki vermektedir. PUMA metodunun kullanımı atölye seviyesinden ölçümlerin ölçüm cihazından kaynaklanan belirsizlik bileşenleri sabit ve tüm diğer bileşenler düzeltilmiş kabul edilerek ölçme ekipmanının metrolojik karakteristikleri için minimum gereksinimleri karşılamasını sağlamaktır.

Ölçme cihazının kalibrasyon ölçümlerinin de aynı prosedüre göre yapılması ölçme standartlarının metrolojik karakteristiklerinin minimum gereksinimlere sahip olmasını sağlamaktadır. Prosedür kalibrasyon hiyerarşisinin tüm evrelerinde ve böylece laboratuvar veya şirket içindeki tüm hiyerarşinin dizaynı yapılabilmektedir.

Ölçme standartlarının nitelikleri ve gereksinimleri: Kalibrasyondaki ölçme belirsizliğinin etkileri, belirsizlik bütçesinden özel bir ölçme standardına göre görülebilmektedir. Tüm diğer belirsizlik bileşenleri sabit alınarak standart birleşik ölçme belirsizliği hedef değerleri sağlarsa ölçüm standardının ölçüm görevi için yeterli niteliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Dış kalibrasyon sertifikalarının nitelikleri ve gereksinimler: Bir şirket veya laboratuvardaki referans standartlarının metrolojik karakteristikleri kalibrasyon hiyerarşisinin sonraki düşük seviye kalibrasyonları için belirsizlik raporunda belirsizlik bileşenlerine sebep olmaktadır. Referans standartlar ölçme cihazı gibi, sonraki düşük seviyedeki ekipman da ölçüm objesi gibi davranmaktadırlar. Tüm diğer belirsizlik bileşenleri sabit kabul edilip referans standardın yol açtıkları değişken alınırsa kalibrasyon sertifikasının gereksinimleri tespit edilebilmektedir.

$$u_T \geq u_C = \sqrt{u_{MPEx}^2 + \dots + u_{Mx}^2 + \dots + u_{Bx}^2 + \dots + u_{Ox}^2 + \dots + u_{Ex}^2 + \dots + u_{Dx}^2 + \dots + u_{Px}^2 + \dots} \quad (8.3)$$

Şayet birleşik standart belirsizlik hedef belirsizliği sağlarsa kalibrasyon sertifikasının yeterli olduğu görülmektedir.

Kontrol standartlarının kullanımının değerlendirilmesi: Kontrol standartları atölyede uygulanırlar, ölçme belirsizliklerini azaltmanın bir yolu olabilmektedirler. Ölçme ekipmanının kalibrasyonu merkez alınarak güncel belirsizlik bileşenlerinin raporda yerlerini almasıyla ve muhtemel yeni belirsizlik bileşenlerinin eklenmesi ile, kontrol standardının ölçme belirsizliği üzerindeki etkisi değerlendirilebilmektedir.

8.3.4 Yeni Ölçme Cihazının Dizaynı ve Belgelenmesi

Yeni ölçme cihazı için şartname: Özel bir ölçme görevi için belirsiz raporu ölçme cihazından gelen belirsizlik bileşenleri için kurulabilmektedir, tüm bilinmeyen değişkenler ve tüm diğer belirsizlik bileşenleri sabit alınarak henüz vücut bulmamış yeni ölçme cihazı için gereksinimler önceki formülden hesaplanabilmektedir.

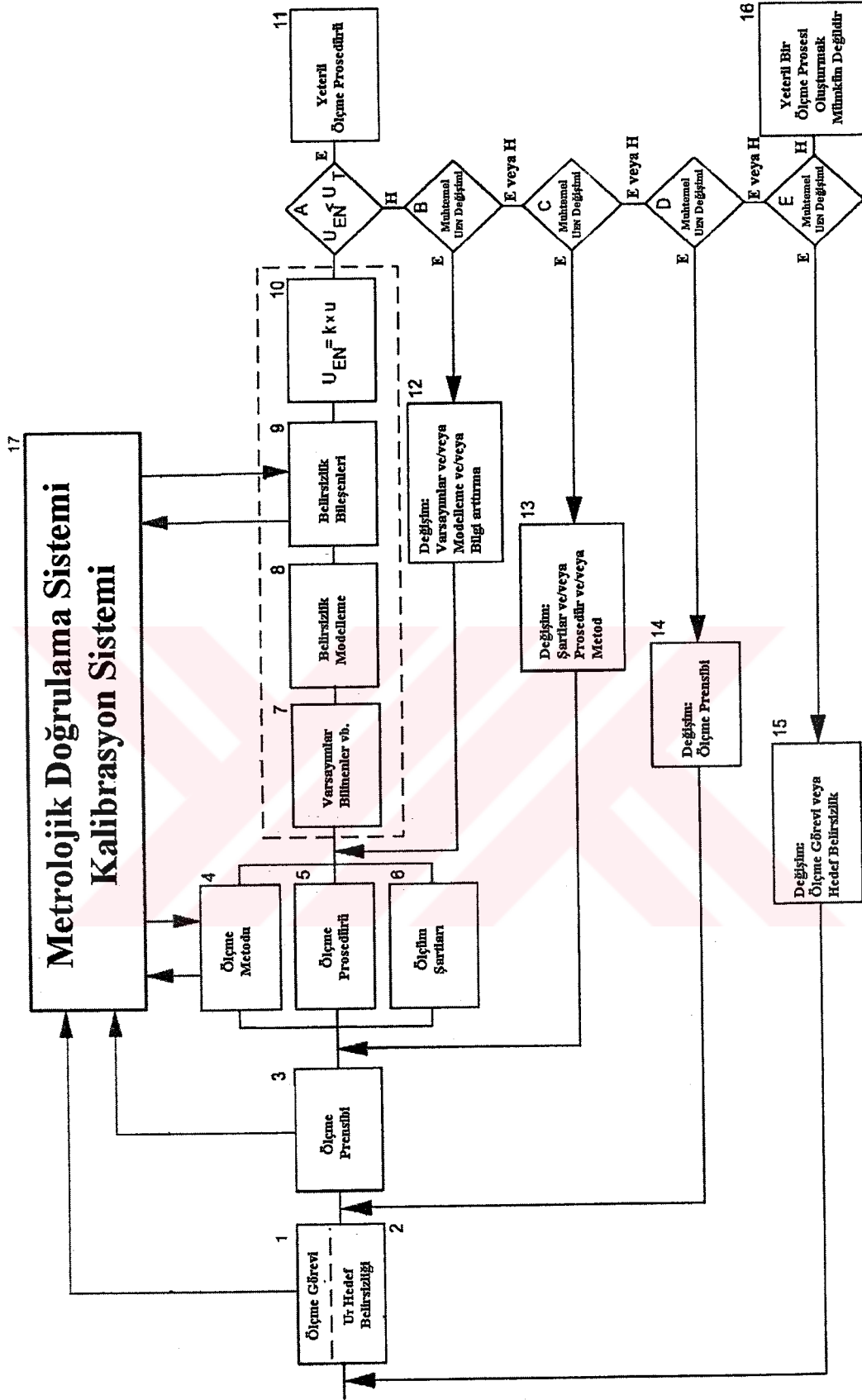
Özel bir ölçme cihazının dizaynı: Özel bir ölçüm görevi için belirsizlik raporu henüz dizayn edilmemiş bir ölçme cihazının belirsizlik bileşenlerinin tespiti için kullanılabilir, tüm bilinmeyen değişkenler ve tüm diğer belirsizlik bileşenleri sabit kabul edilerek yeni ölçme cihazının dizayn gereksinimleri aynı formülden hesaplanabilmektedir.

Çevre özellikleri ve gereksinimler: Çevrenin ölçme belirsizliği üzerindeki baskın etkisi belirsizlik raporundan rahatlıkla görülebilmektedir. Tüm diğer belirsizlik bileşenleri sabit alınarak ve çevreden kaynaklanan belirsizlik bileşenleri değişken kabul edilerek, aynı formül kullanılarak çevre için gereksinimler saptanabilmektedir.

Birleşik standart belirsizlik hedef belirsizlikten küçük veya eşit olduğu takdirde çevre şartlarının ölçme görevi için uygun olduğu söylenebilir.

Ölçme personelinin nitelikleri ve gereksinimler: Ölçümü yapan kadronun belirsizlikler üzerinde bir etkisi olduğu açıktır. Diğer kaynaklarda yapıldığı gibi formülde tüm değişik kaynaklı belirsizlik bileşenleri sabit alınırken personelden ileri gelenler değişken kabul edilir ve gerekli değerler hesaplanır. Birleşik standart belirsizlik hedef belirsizliği sağlıyorsa ölçme görevi için personelin gereksinimleri sağladığı görülür.

Şekil 8.2'de (ISO TS 14253-2, 1999) belirsizlik bütçesinin ekipman, kalibrasyon veya ölçme standartlarıyla ilişkileri gösterilmektedir.



Şekil 8.2 Belirsizlik bütçesinin ekipman, kalibrasyon veya ölçme standartlarıyla ilişkileri

9. ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ölçme sonuçlarının güvenilirliği sağlamak için uzun yıllardır çeşitli belirsizlik modelleri kullanılmaktadır. Kabul edilmiş bir belirsizlik modeliyle desteklenmemiş ölçme sonuçları en iyi ihtimalle hatalı en kötü ihtimalle hayali bir sonuç olmaktadır (Schneider, 1962)

9.1 İlk Modern Belirsizlik Modeli

Ölçme belirsizlikleri üzerine yayımlanan ilk ciddi çalışma Dr. Robert B. Abernethy tarafından yapılmıştır. Bu çalışma ilk modern ölçme belirsizliği modelini tanımlamıştır. Burada belirsizlik şöyle formüle edilmiştir:

$$U_{ADD} = \pm \left[(B_R) + (t_{95} S_{\bar{X},R}) \right] \quad (9.1)$$

9.1'deki eşitliğe göre, U_{ADD} ölçme belirsizliği, B_R sonucun sapma değeri, $S_{\bar{X},R}$ doğruluk göstergesi ve t_{95} Student's t alınan uygun serbestlik derecesi olarak tanımlanmıştır. Burada sapma değeri sistematik hataları, doğruluk göstergesi ise rastlantısal hataları göstermektedir. (1) numaralı denklem aynı zamanda US Hava Kuvvetlerinin kullandığı model temel alınmıştır. (1) numaralı denklem test sonucunun belirsizlik aralığının aşağı yukarı %99 garanti altındadır. Burada "garanti" terimi önemlidir. Çünkü model belirsizlik aralığının bulunması için istatistiksel bir değerle ($S_{\bar{X},R}$) istatistiksel olmayan bir değeri, B_R , birleştirmiştir ve güvenilirliği azalmıştır (Dieck, 1997; Schneider, 1962).

Sonucun sapması olarak tanımlanan sistematik hatalar, B_R her bir sistematik hatanın belirlenip karelerinin toplanıp toplamın karekökünün hesaplanmasıyla bulunur.

$$B_R = \left[\sum_{i=1}^N (B_i)^2 \right]^{1/2} \quad (9.2)$$

B_i , i numaralı sistematik belirsizliktir. Ölçüm sonucunda "doğruluk işareti" olarak tanımlanan rastlantısal belirsizlik, $S_{\bar{X},R}$. Her bir rastlantısal belirsizliğin karesi toplamının kareköküdür.

$$S_{\bar{X},R} = \left[\sum_{i=1}^N (S_{\bar{X}_i})^2 \right]^{1/2} = \left[\sum_{i=1}^N \left((S_{X_i}) / (N_i)^{1/2} \right) \right]^{1/2} \quad (9.3)$$

S_{x_i} , i numaralı rastlantısal hata kaynağının standart sapmasıdır. $S_{\bar{x}_i}$, i numaralı hata kaynağının rastlantısal belirsizliğidir (ortalamanın standart sapması) ve N_i , i hata kaynağının ortalama veri noktaları sayısıdır. Ölçüm sonucunun rastlantısal belirsizliği için t serbestlik derecesi Welch-Satterthwaite yaklaşımıyla şu şekilde ifade edilmektedir.

$$d.f = v_R = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (S_{\bar{x}_i})^2 \right]^2}{\sum_{i=1}^N \frac{(S_{\bar{x}_i})^4}{(v_i)}} \quad (9.4)$$

$d.f = v_i$, ölçüm sonucunun i rastlantısal belirsizliği için serbestlik derecesidir. 9.2 ve 9.4 numaralı denklemler bugün hemen hemen tüm belirsizlik modellerinde direkt olarak yada hazırlık aşamasında kullanılırlar. Ölçme belirsizliği içindeki sistematik ve rastlantısal belirsizlikler sonuçta birleştirilirler. Her yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır (Dieck,1997).

U_{ADD} belirsizlik modelinin avantajları şunlardır:

- Endüstri standartlarınca kabul edilmiş ilk modeldir.
- Yöntem basittir ve uygulanması kolaydır.
- Her bağımsız, düşük değerli belirsizliğin (terim yanlışlığı olarak hata diye anılırlar) kareleri toplamının karekökünü almaya dayanmaktadır.
- Yöntem için güvenlik bölgesi simülasyona dayanan uygulamalarda yaklaşık %98 ile %100 arasında değişir . Daha ileri çalışmalarda %98 ile %100 arasında çok değişken, kararlı olmayan sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Sistematik ve rastlantısal kavramları kullanılmaktadır.
- Her bir B_i değeri için hata dağılımı seçmeyi gerektirmemektedir.

Bu model yapıldığı dönemde çok kullanışlı olsa da birtakım dezavantajları vardır:

- Bir güvenlik bölgesinden bahsedilebilirken bir güvenilirlik kavramından bahsedilmemiştir. Bu fark sistematik kavramının rastlantısal kavramında olduğu gibi istatistiksel olmamasından ortaya çıkmıştır. Burada istatistiksel bir değer istatistiksel olmayan bir değerle karıştırılmıştır, normalde katı, değişmeyen istatistiklerle birleştirilmiştir buda güvenilirlik kavramını ortadan zayıflatmıştır.
- Yalnızca uygun şartlarla uygulandığında %99 güvenlik sağlamaktadır.

- İstatistiksel verilerle istatistiksel olmayan verileri birleştirmektedir.
- Güvenlik miktarı B_R ve $tS_{\bar{X},R}$ değerlerinin baskınlığına göre değişmektedir. B_R çoğunlukla 3 standart dağılım sınırına göre değerlendirilmektedir. Bu sebeple eğer baskın değerse denklemin güvenlik miktarı %99.7, $S_{\bar{X},R}$ baskın değer değilse %95 miktarındadır.
- Güvenlik normal istatistiklerin türevlerinden değil, simülasyona dayanmaktadır.

9.2 ASME'nin Modern Ölçme Belirsizliği Modeli

1985 yılında Amerika Makine Mühendisleri Derneği (ASME), ölçme belirsizliklerinde Performans Test Kodu'nu (PTC) yayımlamıştır. Bu doküman daha önceki ölçme belirsizliği modellerini kabul etmiş ve kare toplamalarının karekökü olarak anılan yeni bir model geliştirmiştir.

$$U_{RSS} = \pm \left[(B_R)^2 + (t_{95} S_{\bar{X},R})^2 \right]^{1/2} \quad (9.5)$$

Bu modelde U_{RSS} ölçme belirsizliği, B_R diğer modelde de bahsi geçen sonucun sapması, $S_{\bar{X},R}$ sonucun doğruluk işaretidir ve t_{95} Öğrencilerin %95 serbestlik derecesine göre alınmış t 'sidir. Bu modelde sapma kavramını sistematik belirsizlikler için ve doğruluk işareti kavramını rastlantısal belirsizlikler için kullanmıştır (Dieck,1997).

U_{RSS} belirsizlik modelinin avantajları şunlardır:

- Ulusal standartların kabul ettiği ilk model olmaktadır.
- Kullanımı kolay, karmaşık olmayan bir modeldir. Bağımsız her bir belirsizliğin kareleri toplamının karekökünün alınmasıyla hesaplanmaktadır.
- Sistemik ve rastlantısal hata kavramları kullanılmıştır.
- Her bir B_i için hata dağılımı seçimi gerekli olmamaktadır.

Bu model daha çok buhar türbinleri endüstrisinde, U_{ADD} modeli ise uzay-havacılık sanayisinde tercih edilmiştir. Modelin dezavantajları şunlardır:

- Doğru uygulandığında tek bir güvenlik değeri vermektedir (%95).
- İstatistiksel ve istatistiksel olmayan verileri birleştirmektedir.
- Güvenlik miktarı B_R ve $tS_{\bar{X},R}$ değerlerinin baskınlığına göre değişmektedir. B_R çoğunlukla 3 standart dağılım sınırına göre değerlendirilmektedir. Bu sebeple eğer baskın değerse denklemin güvenlik miktarı %99.7, $S_{\bar{X},R}$ baskın değerse %95 miktarındadır.

- Güvenlik normal istatistiklerin türevlerinden değil, simülasyona dayanmaktadır.
- Güvenlik miktarı ortalama %95 değerindedir ancak U_{ADD} modelindeki bundan daha değişkendir. Yaklaşık %94 ile %98 arasında değerler almaktadır.

9.3 ASME'nin Gelişmiş Modeli

Bu model ASME'nin yeni U.S. Ulusal Standardıdır.

$$U_{95} = \pm 2 \left[\left(\frac{B_R}{2} \right)^2 + (S_{\bar{X},R})^2 \right]^{1/2} \quad (9.6)$$

Model oldukça basittir. Serbestlik derecesinin ≥ 30 olduğunu kabul etmektedir. Denklem önündeki 2 çarpanını buradan çıkmıştır. Genel olarak çarpan t_{95} 'tir ve bu serbestlik derecesinde t_{95} 2'dir (Dieck,1997).

U_{95} Belirsizlik modelinin avantajları

- Belirsizliklerin mühendislik yaklaşımlarında faydalı olabilecek şekilde sistematik ve rastlantısal olarak sınıflandırılmasına imkan tanımaktadır.
- Serbestlik derecesi ≥ 30 için %95 güvenilirliğe sahiptir ve bu kaynakların baskınlıklarına göre değişim göstermemektedir.
- Sağladığı %95 güvenilirlik birçok uygulamada çok kullanışlı olmasını sebep olmuştur.
- Tek tip dağılımların veya normal olmayan sistematik belirsizliklerin arzulanamının kullanılmasına izin vermektedir.
- Sonradan yapılan istatistiksel çalışmalar, sistematik ve rastlantısal belirsizlikler ortalamanın standart sapması kabulünden dolayı kolaylıkla modele eklenebilmektedirler.
- Belirsizliklerin A ve B tipi olarak gruplaşmasına imkan tanımaktadır.
- İşletmenin sistematik belirsizlik değerlendirilmesinin eski uygulamalarını kullanabilmesine imkan tanımaktadır. Şayet B_i 3σ olarak değerlendirilmişse B_R 2σ 'ya eşitlenebilir, B_i 2σ olarak değerlendirilmişse B_R direkt olarak denklem 9.6' da yerine konulmaktadır.
- Güvenilirlik kolayca Student's t değiştirilerek istenilen değerlere çekilebilmektedir. (%99 için $t_{99}=2.58$)

U_{95} Belirsizlik modelinin dezavantajları

- Bu model %95 güvenilirlik sınırını aşamaz.

- Model için serbestlik derecesinin otuzun üzerinde olduğu farz edilmiştir. Ancak yalnızca 9 serbestlik dereceliyle bile sağlam bir model oluşturulabilir.
- Model sistematik hataların dağılımı için bir kabul gerektirir. Burada %95 güvenilirlik için normal dağılımı alınmıştır (Dieck,1997).

9.4 ISO'nun Belirsizlik Modeli

Bu model ISO tarafından hazırlanmıştır. U_{ISO} ölçme belirsizliği değeridir; U_A sonuç için A tipi belirsizlikler; U_B sonuç için B tipi belirsizlikler ve k güvenilirliği göstermek için belirlenecek daha önceki modellerde Student's t olarak karşımıza çıkan çarpandır (TS 14253-2, 1999).

Bu değerler her bir bağımsız A ve B tipi belirsizliklerin kareleri toplamının kareköküdür. A tipi belirsizliklerin standart sapmalarının hesaplanabilmeleri için verileri vardır. B tipi belirsizliklerinde ise veri yoktur. Belirsizlikler mühendislik yargılamalarıyla saptanır.

U_A için serbestlik derecesi standart sapmanın hesaplanmasında kullanılan test verilerinden alınır. U_B için serbestlik derecesi sonsuz kabul edilir. Burada U_B değerleri belirsizlik kaynağı için tek bir standart sapma değeridir (Dieck,1997).

U_{ISO} modelinin avantajları şunlardır:

- Standart olmadan uluslararası kabul gören ilk modeldir.
- A ve B tipi sınıflandırması yöntemi diğerlerine göre kolaylaştırmıştır.
- Bağımsız belirsizliklerin karelerinin toplamının kareköküyle hesaplanmaktadır.
- k faktörünün uygun seçilmesiyle istenilen güvenilirlik değerine ulaşabilmektedir.
- A ve B tipi belirsizlerin birbirlerine baskınlıkları sonucun güvenilirliğine bir etkide bulunmamaktadır.
- Bağımsız belirsizliklerin sınıflandırılması toplam belirsizliğin (genişletilmiş) değişmesine yol açmamaktadır.
- U_A ve U_B standart sapmaların ortalamasının $S_{\bar{X}_i}$ olduğunu varsayılmaktadır.
- Her bir bağımsız U_{B_i} için tek tip dağılımların kullanılmasına izin vermektedir.
- A tipi ve B tipi belirsizlikler, ortalamanın standart sapmaları olarak alındığından burada gerçek güvenilirlik kavramından bahsetmek mümkündür.
- Sonradan yapılan istatistiksel çalışmalar, ortalamanın standart sapması kabulünden dolayı kolaylıkla modele eklenebilmektedirler.

- Belirsizliklerin, tavsiye etmese de sistematik ve rastlantısal olarak sınıflandırılmasına imkan tanımaktadır.

U_{ISO} modeli dezavantajı olarak ise şu söylenebilmektedir.

- Belirsizlikleri etkilerine göre sistematik ve rastlantısal olarak sınıflandırmayı tavsiye etmemektedir. Kaynaklarına göre, istatistiksel yada istatistiksel olmayan temellere, çoğunlukla mühendislik yargılarına göre gruplamaktadır (Dieck,1997).



10. BELİRSİZLİK AZALTMA ÇALIŞMALARI VE KALİBRASYON

10.1 Ölçme Cihazlarında Kalibrasyonun Önemi ve Kalibrasyon Yöntemleri

Ölçme işlemleri ürün kalitesini büyük ölçüde etkileyen, kalite kontrol sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Birçok ölçüm ürün üzerinde boyut belirtmek amaçlı yapılmakta, dolayısıyla mamul kalitesine direkt etkimektedir. Proses şartları, proses etkenlerinin ölçüldüğü uygulamalarda ise dolaylı yoldan mamul kalitesi etkilenmektedir. Her iki koşulda da ölçme tamlığı bir zorunluluktur. Bu sebeple ölçme ve görüntüleme cihazlarının periyodik kalibrasyonları ve doğrulanması, modern endüstriyel imalatta ürünlerin kalitesi çok önemli bir gerekliliktir. Ölçme hiyerarşisi sistemi ve buna ilaveten Kalite Yönetim Sistemleri alanındaki uluslararası standart ISO 9000:2000, kullanılan ölçme cihazları için ayrıntılı bir kontrol ve doğrulama sistemi kurmayı talep etmektedir (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003; Alan, 1991).

Birkaç yıl önce kalite sahasında çalışanların hiçbiri ölçme belirsizlikleri ve akreditasyon konularına tam hakim değildi. Bugün her ne kadar büyük mesafeler alınmışsa da bu problemler tam sonuca ulaştırılamamıştır. Akredite edilmiş kalibrasyon ve ölçme belirsizliklerinin değerlendirilmesi boyutsal metrolojide belgeleme ve izlenebilirlik üzerine çok önemli etkilerde bulunmuştur.

2000 yılı boyutsal metroloji tarihinde akreditasyon hareketlenmesi için bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. QS-9000'in üçüncü versiyonu 1998'de yürürlüğe girmiştir ve 2001 tarihine kadar tüm laboratuvarların istenilen şartları yerine getirmeleri talep etmiştir. Böylece 2000 yılı sonuna kadar yüzlerce kalibrasyon hizmeti sağlayıcısı akredite edilmiştir [6].

Kalibrasyon işleminin ölçümün güvenilirliğini sağlamak için belli frekanslarla yapılması gerektiği oldukça açıktır. Ölçme cihazının karakteristikleri zamanla değişmekte, bu da girdi-çıkı ilişkilerini etkilemektedir. Cihaz karakteristiklerini etkileyen, gerçek ölçme sonuçlarından sapmalara sebep olan, mekanik yıpranma, kir, toz, operasyon alanındaki çevresel etkenler, vb. çok sayıda farklı faktör vardır. Bu sapmaların miktarı cihazın kullanım miktarına ve dayanımına, zaman aralığına, ortam şartlarına bağlı olmaktadır. Bununla birlikte fazla kullanımı olmayan cihazlar da yaşlanma etkileri veya birtakım kimyasal etkilerle hassasiyetlerini kaybedebilmektedirler. Kalibrasyonun kalite güvencesi amaçlarını taşıyacak seviyeye gelmesi için ölçme zincirindeki tüm elemanların doğrulanması gerekmektedir (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003; Alan, 1991).

Kalibrasyon metotları uygulanışlarına göre üç temel başlık altında birleştirilebilmektedirler;

- Direkt karşılaştırma metodu
- Dolaylı karşılaştırma metodu
- Değiştirme metodu

Direkt karşılaştırma metodunda bilinen standart bir referans ve ölçülecek cihaz kullanılmaktadır. Test sistemi daima tanımlanmış referans büyüklüğün ölçülmesi ve ölçüm sonucunun bilinen değerlerle karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Değerlerin birbirleriyle ilişkilerine göre düzeltme veya başka tedbirler alınmaktadır.

Dolaylı Karşılaştırma metodu standart dışı bir kaynak üzerinde bir standart ölçme cihazı, bir standart olmayan cihazla ölçüm yapılmasıdır. Standart cihazın çıktı değerleri referans kabul edilerek kalibre edilecek cihazın çıktılarıyla karşılaştırılmaktadır.

Değiştirme metodunda standart olmayan bir kaynak, standart olmayan bir ölçme cihazı standart bir sistem ve test sistemi kullanılmaktadır. Öncelikle test sistemi bağlanarak kaynaktan ölçme sonuçları alınmakta ve kaydedilmektedir. Daha sonra standart sistemin bağlanması suretiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır (Schneider, 1962).

10.2 Kalibrasyon Prosesleri ve Prosedürleri

Kalibrasyon prosesi, kalibre edilecek cihazın çıktı değerlerinin aynı girdiler için, tamlığı bilinen standart çıktı değerleriyle karşılaştırılmasıdır. Bu kalibrasyon cihazın tüm çalışma bölgesi boyunca belli aralıktaki girdi değerleri için tekrarlanarak yapılması gereken bir karşılaştırma prosesidir.

Kalibrasyon prosedürü için standart olarak kullanılan ölçme cihazı, kalibrasyon görevleri için ayrı tutulmalıdır ve hiçbir şekilde başka bir amaç için kullanılmamalıdır. Özellikle cihazın herhangi bir arıza halinde ölçme proseslerinde kullanılacak boş bir cihaz olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir. Arıza hallerinde kullanmak için yedek setler bulundurulmalıdır. Standart kalibrasyon cihazı imalat proseslerinden tamamen ayrılmış olmalıdır (Alan, 1991).

Uygun şartların sağlanması için kalibrasyon fonksiyonları profesyonel olarak yönetilmeli ve uygulanmalıdır. Normal olarak kalibrasyon operasyonlarında kullanılan tüm cihazların tutulması gereken ayrı bir bölüm oluşturulmasını gerekmektedir. Adı geçen bölüm işletmenin imkanları doğrultusunda ayrı bir oda veya bir odanın ayrılmış bir kısmı olabilir. Böylece çevre şartları üzerinde daha baskın bir kontrole sahip olunabilmektedir, bununla birlikte cihazlar yetkisiz kullanımlardan korunmuş olmaktadır. Kalibrasyon süresince, ortam şartları

üzerinde prosedüründen beklenen tamlık sınırları çerçevesinde bir kontrole gereksinim vardır. Ancak ortam şartlarında gereksinimlerin üzerinde bir kontrol giderlerin gereksiz yere artmasına sebep olmakta ve işlemin ekonomikliğini azaltmaktadır. Normal şartlar altında ölçme ortamında atmosferin şartlandırılması, aşırı sıcak veya soğuktan kaçınılması ve standardın üzerinde bir temizlik sağlanmalıdır (Alan, 1991).

Ancak kalibrasyon için önemli bir nokta, gerek kalibrasyon laboratuvarında gerekse dövme-basma preslerinin, işleme merkezlerinin vb. imalat bantlarının yanında çalışan ölçme cihazlarının uygun şekilde kalibre edilmiş, ölçme belirsizliklerinin saptanmış olması ilgili standartların talepleridir [6].

Pratik uygulamalın aksine bazı durumlarda kalibrasyon fonksiyonlarının tamamen kontrol altında bir çevrede gerçekleştirilmesi istenebilmektedir. Bazen ölçme cihazının proses bölgesinden ayrılması zordur veya mümkün değildir. Bu şartlar altında pratik uygulama bu cihazları buldukları ortamda kalibre etmektir (in-situ). Bu şartlar altında çevre şartlarının üzerinde tam bir kontrol mümkün olmamakta ve çevre etkilerinin düzeltme faktörleriyle elimine edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon laboratuvarları dışında bu gibi amaçlar için yaygın şekilde kullanılan cihazların kararlı şartlarda korunması fazla bir gereklilik olmamaktadır.

Kalibrasyon için kullanılan cihazının tamlığını korumak için uyarılar, dikkatli bakım ve uygun kullanım gerekmektedir. Kalibrasyon cihazlarının tamlıklarının doğal olarak kalibre edilecek ölçüm ekipmanından kat kat üstün olması gerekmektedir. Yalnızca kalibrasyon amaçlı kullanılan ve diğer ölçüm proseslerine uygun olmayan cihazlar daha yüksek tamlık değerlerine ulaşabilmektedirler. Pratik uygulamalarda bu cihazlar yaygın olarak kullanılmakta ve bunlar nitelikli operatörlere daha az ihtiyaç duymaktadırlar (Alan, 1991).

Kalibrasyon prosedürlerinin yönetiminde, tüm operasyonların tamamen tek bir kişinin sorumluluğunda birleştirilmesi önemli olmaktadır. Bu görevli hedef performansın sağlanması için tüm kalibrasyon fonksiyonlarından sorumlu olmakta ve laboratuvarına girebilecek yetkili personeli belirlemektedir. Yalnızca yetkili personelin çalışması görevlerin verimli bir şekilde sonuçlandırılmasını etkilemektedir. Profesyonel yönetim müşteriye kalibrasyon sisteminin verimli bir şekilde çalıştığını ve ölçüm tamlığının tatminkar olduğunu garanti etmek durumundadır (Alan, 1991).

ISO/IEC 17025:1999, kalibrasyon ekipmanlarını kullanan tüm personelin yeterli eğitimi almasını gerektirmektedir. Bu fonksiyonun sağlanması da tamamen kalibrasyon yöneticisinin

sorumluluğundadır. Eğitim programının kalibrasyon sistemlerinin özel hedeflerini karşılaması gerekmekte ve eğitimden geçenler neleri ne sebeple bilmeleri gerektiğini tamamen kavramak durumundadırlar. Tamamlanmış eğitim programları sertifikalarla belgelenmektedir.

Ölçüm cihazların kalibrasyon frekanslarını belirlemek uzmanlık gerektiren, belli faktörlere bağlı bir prosestir. Şayet cihazla \pm %2 tamlıkla ölçüm yapılacaksa, \pm %1 performans derecesinden sonra acilen tekrar kalibre edilmesi uygun olmaktadır. Burada önemli olan cihazın uygulama için beklenen performans sınırlarının altına düşmeden önce tekrar kalibre edilmesidir.

Belli zaman periyodu boyunca cihazın hassasiyetini kaybetmesinin temel nedenleri mekanik yıpranma, toz, kir, ortam sıcaklığı ve kullanım sıklığı olmaktadır. Bu faktörler cihaza göre ayarlanmakta ve gerek ölçüm tamlığına gerekse diğer karakteristiklere etkileri, mekanik dizayn ve cihaz üzerinde yapılan ileri incelemeler sonucu saptanabilmektedir. Birtakım pratik uygulamalarda tipik operasyon şartları için kalibrasyon frekansının belirlenmesi istenebilir (Alan, 1991).

Herhangi bir ölçme cihazının çıktı verilerinin kalibrasyon cihazı verilerinden farklı olması durumunda, kalibrasyon dışına çıkan cihaz için takip edilecek prosedürü anlatan tam bir faaliyet planına gereksinim vardır. Gerekli işlem cihazdan kaynaklanan sapmaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Birçok uygulamada bu fark ölçüm değerinden küçük bir sapma şeklinde görülmekte ve bu sapma küçük bir ayarlamayla giderilebilmektedir. Bazı uygulamalarda kalibrasyon prosedürü cihaz hatasını göstermekte, bu süreçte cihazın tamire yollanması veya kullanımına son verilmesi kararları alınabilmektedir (ISO/IEC 17025, 1999).

Uygulanan kalibrasyon frekansı sistemi ne olursa olsun, sistemin verimli bir şekilde işleyip işlemediğinin kontrolü şarttır. Belli bir zaman aralığı için nispeten daha ekonomik (aynı verimlilikte) bir sistem kullanılabilir ve alternatif sistem olarak daha verimli ve maliyetli bir model kabul edilebilmektedir. Tam kontrolü gerekli ekipmanların kalibrasyon aralığında olup olmadıkları bu şekilde teftiş edilmektedir. Burada öncelikle cihazın geçmiş kalibrasyon kayıtları göz önüne alınmaktadır. Cihaz zaman içinde, yaşlanma faktörleri veya operasyon çevresinin etkilerinden dolayı hassasiyetini daha hızlı kaybetmeye başlamış olabilmektedir. Şartlar veya cihazın kullanım tarzı konuyu değiştirebilir. Cihazın kullanılma şartları ve çevresel etkenler kalibrasyon hassasiyetini daha hızlı ya da daha geç kaybetmesine sebebiyet verebilmektedir (Alan, 1991).

Kayıtların tam ve doğru tutulması kalibrasyon fonksiyonlarının sağlanması için önemli bir

etken olmaktadır. Her cihaz için ayrı kalibrasyon kayıtlarının tutulması ve saklanması gerekmektedir. Bu kayıtlar cihaz hakkında genel bir tanımlamayla başlayıp gerekli kalibrasyon frekansını belirtmelidir. Cihazların kalibrasyonu ile ilgili her verinin bu kayıtlarda bulunması gerekmektedir. Her kalibrasyonda cihazın gereksinimlerden ne kadar saptığı ve sapmanın düzeltilmesi için yapılan ayarlamalar anlatılmalıdır. Kalibrasyon kayıtları herhangi bir cihaz için belirlenen kalibrasyon frekansının doğru olup olmadığını gösteren temel kaynaklardır (Alan, 1991).

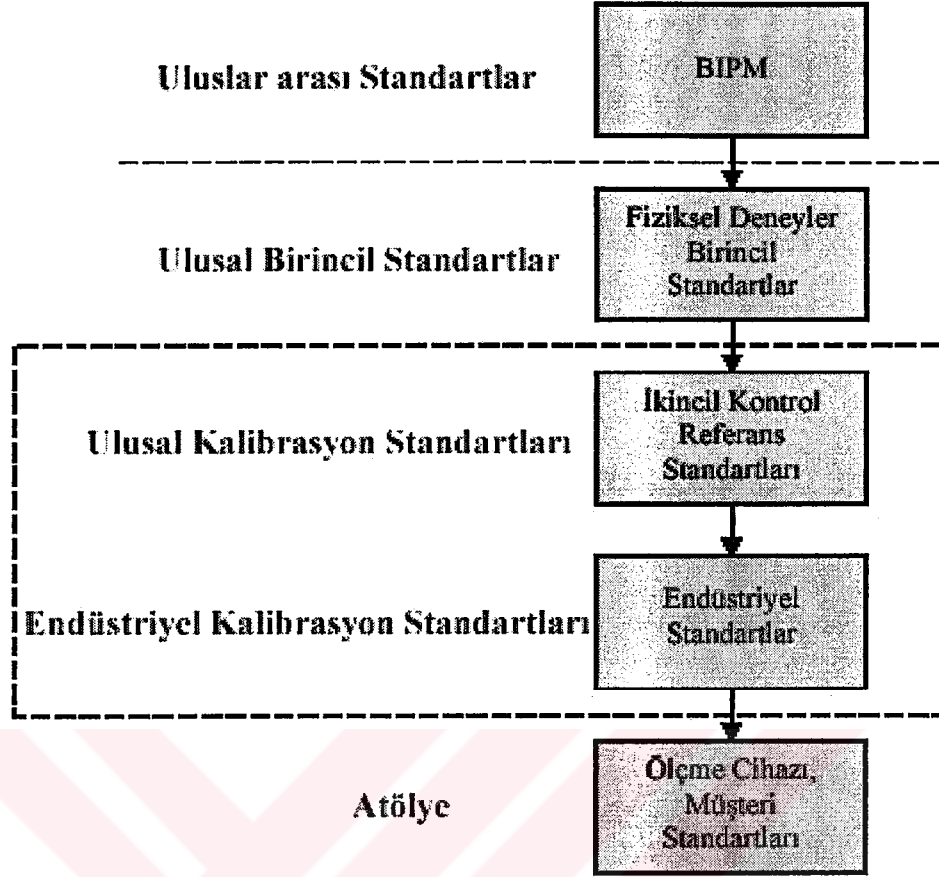
10.3 Standart Laboratuvarlar

Kaliteli ve güvenilir ölçümler yapabilmek için proses cihazlarının zaman zaman laboratuvarlarda standart referans olarak kabul edilen cihazlarla kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu referans cihazlar ilgili kısım tarafından yalnızca kalibrasyon için kullanılan ekipmanlardır. Bu cihazlar başka hiçbir amaç için kullanılmadığından kalibrasyon hassasiyetlerini daha uzun süre muhafaza edebilmektedirler. Bununla beraber belli bir zaman periyodu sonunda standart cihazın kalibrasyon hassasiyetinden sapma göstermesi kaçınılmazdır. Bunun ana sebebi yaşlanma etkileridir. Bu periyodun sonunda cihazı mevcut ihtiyaçlara göre en yüksek tamlık değerine taşıyacak bir program uygulanmalıdır.

Proses ölçme cihazlarının kalibre edilmesinde kullanılan ölçme cihazı ikincil referans standart olarak tanımlanmaktadır. Bu cihazın tüm sapsmalara karşı daha dengeli ve yüksek bir tamlığa sahip olduğu açıktır. Bu niteliklere sahip ekipmanlar doğal olarak diğer benzerlerinden çok daha pahalıdır. Ayrıca cihaz çevresel etkiler üzerinde tam bir kontrole gereksinim duymaktadır. Kullanımı esnasındaki sıcaklık, nem vb. etkenler dikkatlice incelenmelidir (Alan, 1991).

Standart alınan bir ölçme cihazı akredite edilmiş, onaylı bir laboratuvarda kalibre edilir ve bunu gösteren bir sertifika alır. Bu sertifikada şu bilgilerin bulunması gereklidir.

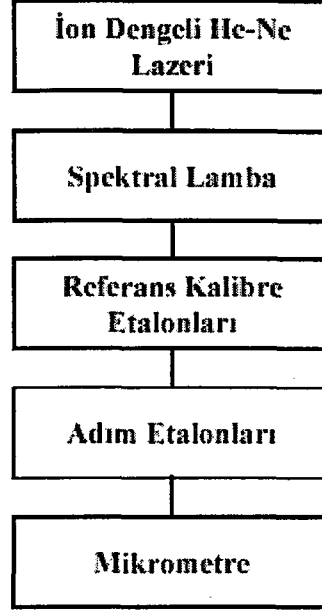
- Kalibre edilmiş ekipmanın tanımı
- Bulunan kalibrasyon sonuçları
- Ölçme belirsizliği
- Ekipmanın kalibrasyonunda kullanılan sınırlamalar
- Kalibrasyon tarihi
- Sertifikayı düzenleyen otoritenin onayı (ISO/IEC 17025, 1999)



Şekil 10.1 Standart zinciri

İşletme bünyesinde standart bir laboratuvar oluşturmak ancak çok büyük işletmelerde, çok sayıda ölçme cihazının bulunduğu ve yüksek kalibrasyon ihtiyaçlarının mevcudiyetinde ekonomik olabilmektedir. Laboratuvarın kalibrasyon ihtiyaçlarını tamamen karşılaması, cihazın tamlık artırma zinciriyle ulusal referans standartlara ulaştırılması gerekmektedir. Bu zincirde hiçbir kırılma olmadığını gösteren verilere gereksinim duyulmaktadır (Kessel, 2002).

Standart bir mikrometre için bir Şekil 10.2’de kalibrasyon zinciri gösterilmiştir. Mikrometre işletmedeki etalonlarla ayarlanmaktadır. Bu etalonlar referans kalibre etalonlarına göre kontrol edilmektedirler. Bu işlem uzman kalibrasyon hizmeti veren bir işletmece yapılmaktadır. Ulusal standart organizasyonu daha yüksek tamlıkta kalibrasyon yapmak durumundadır. Bunu pratikte iki yöntemle sağlamak mümkündür. Spektral lamba veya helyum-neon lazeri ile yüksek tamlıkta kalibrasyon yapılabilmektedir (Alan, 1991).



Şekil 10.2 Mikrometre için kalibrasyon zinciri (Alan, 1991)

10.4 İş Ortamının Belgelenmesi

Ölçme sisteminin geri beslenmesinde ve kalibrasyon prosedürlerinin uygulanmasında temel, tam bir belgeleme oluşturmaktır. Bu dokümanlar operasyon ortamını, kullanılan cihaz ve ekipmanları, uygulanan kalibrasyon sisteminin ve prosedürlerinin ölçme gereksinimlerini tanımlamak durumundadır. Her ölçüm için tutulan kayıtlarında bu dokümana eklenmesi gerekmektedir. Bu belgeleme kalite kılavuzunun bir parçasıdır ancak ayrı bir cilt olarak basılması daha uygundur. Belgelemenin başlangıç noktası her ölçüm sistemi dokümanı için tanımlanmış ölçme limitlerinin belirlenmesidir. Bu limitler müşteri gereksinimlerini karşılayabilecek, geliştirilmiş tamlik derecelerinin maliyetlerle dengelenmesiyle ve kalite kılavuzundaki kalite özellikleri sınırlarına göre oluşturulur. Ölçme hata aralıklarının belirtilmesin için teknik prosedürlere gereksinim vardır (Alan, 1991; ISO/IEC 17025, 1999).

Her bir ölçme durumu için özelleştirilmiş cihazlar listelenir. Bu liste cihazların tam kullanımı için talimatları içermektedir. Bu talimatlar tanımlanmış ölçme limitlerine göre yeterli tamlığı sağlamaya yetecek herhangi çevre şartı veya diğer özel uyarıları içermektedir. Cihazı kullanacak personelin görmesi gereken bir kurs-egitim varsa belirtilmelidir. Hangi cihazın kullanılacağı konusunda bir dağılım bulunmalı ve kalibrasyon konusunu da içine almalıdır. Her ölçme cihazına tam kalibrasyon uygulamak ekonomik olmamakta veya teknik olarak her zaman gereksinim değildir. Teknik olarak gereksiz olmasının şartı ölçümün tamlığının

mamulün toplam kalite hedefine fazla bir etkisi olmamasıdır.

Belgeleme resmi kalibrasyonun ana objesi olan ölçüm ekipmanları için kullanılacak referans standart cihazını ve kalibrasyon prosedürünü de tanımlamalıdır. Prosedürde standart kalibrasyon cihazının kullanımı ve saklanması bununla birlikte yapılacak kalibrasyona göre sağlanması gerekli çevre şartlarını açıklamalıdır. Şayet bir ölçme cihazı kullanılırken basılmış pratik standartlar kullanılacaksa bunların dokümana eklenmesi gereksizdir, referans olarak gösterilmeleri yeterli olmaktadır. Hangi kalibrasyon sistemi uygulanırsa uygulansın ciddi bir teftiş prosedürü uygulanarak belgelemenin verimli işleyip işlemediği saptanmalıdır. Her kontrolün sonucu da dokümanlarda yer almalıdır (Alan, 1991).

Kalibrasyon sonuçlarını kaydetmenin standart formu belgede tanımlanmalıdır. Her cihaz için cihazın tanımını yapan, kalibrasyon frekansını, tarihleriyle kalibrasyon sonuçlarını detaylı şekilde veren ayrı bir kaydın operasyon alanında tutulması gerekmektedir.

Belgeler cihaz kalibrasyon limitleri dışına çıkmışsa izlenecek prosedürü anlatmalıdır. Bu sapmanın yapısına, tipine göre belirlenmektedir. Cihaz tamir yada bakıma yollanabilir. Kullanımına son verilebilir. Kullanımına son verilen cihazlar bir hata sonucu tekrar prosese alınmalarını için işaretlenmelidirler (ISO/IEC 17025, 1999).

Dokümanda olması gerekli iki konu daha vardır. Kalibrasyon sisteminin ulusal referans standartlarına uygunluğu tanımlanmalı ve sertifikayla desteklenmelidir. Belgelenmiş kalibrasyon prosedürlerinin safhaları kalite kontrolün periyodik teftişinin bir parçası olarak nitelenmiştir.

Sorumlu mühendis kalibrasyon kontrolleri arasındaki uygun aralığı seçer, kalite sistemi müfettişi seçilen aralığın kalibrasyonlar arasında cihazların ölçme belirsizliği limitlerinin izin verilen sınır değerlerin üzerine çıkıp çıkmadığını anlamak için test sonuçlarına gereksinim duymaktadır. Bu proses özellikle kalibrasyon dışında kalmış cihazlar için oluşturulacak proses için gereklidir. Kalite güvencesi bünyesinde bu prosedürlerin verimlilik derecesinin yeterliliğini gösteren verilere gereksinim vardır (Alan, 1991).

10.5 Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi

Kalibrasyon periyodunun tesbiti, kalibrasyon sistemlerinin önemli ancak dinamik yapıya sahip bir bileşenidir. Periyodun tesbitinde amaç; sistemdeki ölçme cihazlarının, belirlenen güvenilirlik aralığında, istenilen doğrulukta ölçüm yapmalarının güvence altına alınmasıdır, ancak bu amaç gerçekleştirilirken minimum maliyet de amaç fonksiyonun diğer bileşeni

olmaktadır. ISO 10012 standardında bu konuya dikkat çekilmiş ve kalibrasyon aralığının kısa tutulmasıyla cihazın ve dolayısıyla sistemin güvenilirliğinin artırılacağı ancak öte yandan cihazın kullanım dışı olduğu zamanlarda ait olduğu sistemlerin durdurulması yada yedek bir cihaza ihtiyaç duyulması nedeniyle artı maliyetlerin gelebileceği vurgulanarak sonuçta firmaların bu noktada fedakarlık yapmalarının zaruretinden bahsedilmiştir. Özellikle CMM'ler gibi yüksek maliyetli cihazların kalibrasyon prosesi süresince kullanım dışı kalmaları kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Kalibrasyon periyodu, cihazın cinsinden yaşına ve geçmiş performansına, kullanım amacından kullanıcıya ve kullanıldığı yerdeki ortam şartlarına, kalibrasyon maliyetinden zamanında yapmamanın doğuracağı maliyetlere değin uzayan bir seri etkene bağlı olarak belirlenmektedir. Bu etkenlerin belirlenmesi ve periyodun tesbitine dahil edilmesi bir kalibrasyon sistemden diğerine değişebilmektedir. Ancak tüm sistemlerin paylaşmak zorunda oldukları bir temel mantık vardır; her sistem, bir cihazı ilk kez kalibrasyona tabi tuttuğunda bu cihaz için bir başlangıç kalibrasyon periyodu belirler ve zaman içerisinde bu periyot tesbitinin performansını değerlendirir ve bu değerlendirmeler ışığında gerekiyorsa lüzumlu değişiklikleri yapar. Uygun bileşenler tanımlandığında kısa sürede optimum kalibrasyon periyotları tesbiti mümkün olabilecektir (ISO 10012, 2003; Tevruz, 1999).

Sistemin kendisine ait özelliklerinin dikkate alınması ile başlangıç kalibrasyon periyodu önemli oranda bir doğrulukla tesbit edilebilmektedir. Ancak bu nokta sürekli bir gelişmenin ve iyileşmenin ilk adımı olmaktadır. Sistem, sürekli bir şekilde kendini gözlemlemeli ve ürettiği sonuçları değerlendirebilmelidir. Cihazın yaşlanması nedeniyle hassasiyetini yitirmesinden sistemin yeni amaç fonksiyonu belirlemesine, kullanıcı personelin uzmanlaşmasından yeni ölçüm tekniklerinin gelişmesine değin çeşitli etkenlerdeki değişiklikler ile başlangıçta belirlenen kalibrasyon periyodu zaman içerisinde değişme ihtiyacı hissettirebilmektedir. Bir diğer ifade ile, başlangıç kalibrasyon periyodu belirlenirken göze alınmayan etkenler yada göze alınan etkenlerin önemi/önemsizliği zaman içerisinde daha açık surette belirginleşebilir ve bu durum mevcut periyotların revize edilmesini gerekli kılabilir (Tevruz, 1999).

Çizelge 10.1'de çeşitli kullanım alanlarına ve bu alanlardaki çeşitli eleman örneklerine ait kabul edilebilir kalibrasyon periyotları, çeşitli referans dökümanlar ve edinilen tecrübelerle dayanarak belirlenmiştir. Ancak, burada belirtilen periyotların referans standartlar ve çalışma standartlarında ziyade, kullanımdaki hassas cihazlar için tesbit edilmiş değerler oldukları göz önünde bulundurulmalıdır. Yoğun kullanımda olmadıkları ve muhafaza şartlarının daha iyi

olacağı kabulü ile çalışma standartları ve referans standartların daha uzun periyotlara sahip olabilecekleri düşünülebilecektir (Tevruz, 1999).

Çizelge 10.1 Kabul edilebilir kalibrasyon periyotları listesi

	Kullanım Alanı	Örnek Elemanlar	PERİYOT (AY)
1	Uzunluk	Mastar, Mikrometre, Kumpas, Komparator, Cetvel vb.	12
2	Açı	Blok, Mastar, Komparatör, Cetvel, Gönye vb.	12
3	Yüzey Durumu	Pürüzlülük Test Cihazları vb.	12
4	Ağırlık	Terazi, Ağılıklar vb.	12
5	Sabit Hacim	Pipet, Büret, Mezur, Balon Joje vb.	36
6	Değişken Hacim	Dispenser vb.	12
7	Yoğunluk	Piknometre, Hidrometre, Bome vb.	12
8	Kuvvet	Kuvvet Mastarı, Yük Hücresi vb.	12
9	Vibrasyon/Şok	Vibrasyon Cihaz Ve Sensörleri, Darbe Test Cihazı, Sismometre, Şok Kayıt Cihazı vb.	12
10	Basınç	Manometre, Barometre, Basınç Mastarı, Vakum Mastarı, Özel Basınç Göstergeleri vb.	12
11	Viskozite	Viskometre vb.	9
12	Akış Hızı	Anemometre, Pitot Tüpü vb.	9
13	Debi	Debimetre, Flowmetre, Akışkanlık Test Cihazı vb.	12
14	Zaman/Frekans	Kronometre, Zaman Ölçer (Timer), Frekansmetre vb.	12
15	Hiz/Devir	Hiz Ölçer, Takometre, Stroboskop vb.	12
16	Elektrik-Dc Ölçer	Multimetre, Voltmetre, Ampermetre, Potansiyometre, Akım Şöntü vb.	9
17	Elektrik-Ac Ölçer	Multimetre, Voltmetre, Ampermetre, Ohmmetre, Wattmetre, Vahmetre, Kapasitör, İndüktans, Rezistans vb.	9
18	Elektrik-Genel	Transformatör, Fazmetre vb.	12
19	Elektronik	Osiloskop, Transdüser, Frekansmetre, Timer, Üreteçler, Güç Kaynakları vb.	12
20	Elektromagnetik Dalga	Dalga Zayıflatıcılar, Frekansmetre, Güçmetre, Amplifier, Transmitter, Voltmetre, Potansiyometre vb.	12
21	Magnetizma	Miknatis Test Elemanları, Gaussmetre, Magnetometre vb.	9
22	Akustik/Gürültü	Gürültüölçer, Audiometre, Ses Seviye Ölçeri vb.	12
23	Sıcaklık	Termometre, Termostat, Termokupul, Termistör vb.	12
24	Nem	Humidifier, Hygrometre, Psycometre, Thermohygrograf vb.	12
25	Fotometri/ Radyometri	Fotometre, Luxmetre, Radyometre, Optik Dedektör vb.	12
26	Renk	Spektrofotometre, Renk Farkı Ölçeri, Renkölçer, Renk Spektrometresi vb.	12
27	Optik	Enterferometre, Refraktometre, Polarimetre vb.	12
28	Laser	Dedektör, Güçölçer vb.	12
29	Radyasyon	Aktivite Sayıcıları, Dedektörler vb.	6
30	Sertlik	Sertlik Ölçme Cihazları vb.	12
31	Diğer	Kalorimetre	6
		PH Metre	0.5
		Gaz Analizörü	1
		Gaz Dedektörü	6

10.6 Akıllı Ölçme Cihazları Kullanılarak Belirsizliklerin Azaltılması

Akıllı ölçme cihazları ölçme sistemlerinde daha önce değinilen tip hataların azaltılmasında

önemli rol oynamaktadırlar. Bu cihazların şu şartları sağlaması gerekmektedir.

- Çıktı değerlerine etki eden çevre koşullarının ölçüm güç dönüştürücü karakteristiklerine etkisinin tespit edilebilmesi
- Çevre şartlarının cihaza girdi olarak verilmesini sağlayan ve bunların etkilerini saptayan ikincil güç dönüştürücüler bulunması.

Güç dönüştürücülerin ısı değişimlere tepkileri değerlendirilmeli ve tartışılmalıdır. Teorik formüllerle son derece karmaşık yapıdaki güç dönüştürücülere etkiyen çevre şartlarının analitik değerlerini bulmak oldukça zor bir işlemdir. Ancak çevre şartlarının kontrollü değiştirildiği hassas laboratuvar ortamlarında ampirik sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır. Bunlar gerçekleştirildikten sonra akıllı ölçme cihazlarının dizaynı yapılabilmektedir.

Rastlantısal Hataları Azaltacak Ölçme Cihazları

Rastlantısal hatalar özellikle insan kaynaklı oldukları takdirde bu çeşit ekipmanlarla büyük ölçüde kontrol altına alınabilmektedirler. Ancak bazılarının kaynakları elektriksel gürültü veya mekanik titreşim olabilmektedir. Bu durumlarda kısa zaman aralığında birkaç ölçüm alıp bunların ortalamasının sonuç çıktısı olarak alınması tek yoldur.

Sistemik Hataları Azaltacak Ölçme Cihazları

Temel olarak üç durum için cihaz etkilerinden bahsedecek olursak;

Elektriksel akım uygulamalarında sistem ölçme cihazı yükleme etkisi tarafından etkilenmektedir. Cihaz hazırlanarak belli formüller uygulanırsa, ölçme cihazı direncini değiştirebilir ve sonuç üzerinde düzeltici bir etkide bulunabilmektedir.

Bu cihazlar değişken girdilerle işlem yaparken de büyük kolaylık sağlamaktadırlar. İkincil dönüştürücüler birincil dönüştürücülerin karakteristiklerine tesir etmekte veya entegre çalıştığı bilgisayar ikincil güç dönüştürücülerdeki verilere göre birincil dönüştürücülere gelen etkiyi düzeltmektedir. Burada ön şart tüm değişken girdilerin doğru olarak tanımlanması ve değerlendirilmesidir.

Ölçme sistemine bir makro bilgisayar bağlarken elektriksel gürültü oluşturmamak gerekmektedir. Mikro bilgisayar birkaç dönüştürücünün çıktılarını göstermek için kullanılıyorsa bunlara sinyal kabloları ile bağlanmaktadır. Bazı uygulamalarda bağlantı ve bağlantı telleri elektro kimyasal potansiyel, termokimyasal potansiyelle gürültü oluşturabilmektedir. Voltaj değerlerini değiştirebilmektedir. Tüm bu kaynakların bilinmesi bunları nitelikli sistemlerle elimine etme imkanı oluşturmaktadır (Alan, 1991).

10.7 Modern Ölçme Cihazlarında Belirsizlikler ve Kalibrasyon

Koordinat ölçme cihazları günümüz şartlarında esneklik ve yüksek tamlık özellikleriyle en nitelikli ölçme cihazları olarak kabul edilmektedirler. Endüstride, kalite güvencesi zincirinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. CMM'ler genel olarak otomotiv endüstrisinde komplike parçaların ölçüm veya kalibrasyonunda kullanılırlar. 1970'lerin başlarında koordinat ölçme cihazları için daha yüksek standartlar geliştirilmiştir. Bu tür cihazların akıllı imalat sistemlerine ilave edilmesi, günümüzde ancak modern imalat takımlarıyla üretilebilen karmaşık geometriye sahip iş parçalarının otomatize edilmiş imalatına olanak tanımıştır (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003).

Endüstrideki başlıca kullanım alanları:

- İş parçalarının proses içi ve öncesi kontrolü
- Makine yeterliliği ve proses yeterliliği çalışmaları
- Ürün gelişimi esnasında analitik ölçümler
- Ölçme modelleri ve prototipleri
- Takımların, kalibrasyon blokları ve master parçaların kontrolü, teyidi

Üstün niteliklerine rağmen CMM'lerin de hata ve belirsizlik kavramlarından tamamen soyutlanması fiziksel olarak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple her ölçüm sonucunda olduğu gibi CMM ölçümleri sonuçlarının da bir analizi, ölçme belirsizliği değerlendirmesi yapılması ve dolayısıyla ölçme işleminin güvenilirlik derecesinin tespit edilmesi bir zorunluluktur. CMM kalibrasyonu ve doğrulanması, modern üretimde özellikle mikro ve nanoteknolojinin yüksek taleplerinde temel bir kalite gereksinimidir. Koordinat ölçümlerinin güvenilirlik derecesi bir çok değişik yöntemle sınıanabilmektedir. Standartlar ve rehberler cihazların performans tespitinin ve dönemlik bakımlarının nasıl yapılacağını belirlemiştir. CMM'ler için iki temel standart uygulanmaktadır. Uluslararası ISO 10360-2:2001 Geometrik Mamul Özellikleri (GPS) koordinat ölçme cihazlarının doğrulanması, kontrolü için testleri standardize etmiştir. Gene VDI (VDI/VDE 2617) Almanya'da kullanım gören, CMM kullanıcıları için hazırlanmış bir rehberdir. Amerika'da ise bu konu ASME B89.4.1-1997 ile standardize edilmiştir. Bu standartlar direkt kalibrasyonla alakalı olmamalarına rağmen CMM performansını değerlendiren birçok testi tanımlamaktadırlar. Dolayısıyla CMM kullanıcıları buradan yola çıkarak cihazın kalibrasyonu için bir yaklaşıma varabilmektedirler (Hansen, ve Chiffre, 1999; [6]).

Koordinat ölçme cihazlarının belirsizlik etkenleri konvansiyonel cihazların belirsizlik etkenleriyle aynı kaynaklıdır. Genel olarak en baskın faktör burada da sıcaklıktır. Bu sebeple

birçok laboratuarda sıcaklık hassasiyetle kontrol edilmektedir. Sıcaklık değişimleri kontrol edilemiyorsa, daha da kötüsu bilinmiyorsa bunun ölçüm üzerindeki etkilerini saptamak elbette mümkün olmayacaktır. Koordinat ölçme cihazları imalat bantlarında kullanılırken özel, kontrol edilebilir ortamlara yerleştirilmelidirler. Odanın sıcaklık kontrolü için iklimlendirme sistemlerinin kullanılması temel bir gerekliliktir. Bununla birlikte odadaki ısı transferi dahi ölçüm hassasiyetlerini etkilemektedir. İnce cidarlı bir parça, iki proses arasında ölçülecekse hızla ısı kaybederek odanın sıcaklığına etkiyecektir. Bu ve benzeri durumlar için hassas analiz çalışmaları gerekmektedir ([6]; [7]).

CMM'lerin ölçme hatalarını periyodik olarak muayene etme, bulma ve doğrulama faaliyetleri için, paralel etalonlarla (gauge block), adım etalonları (step gauge), ölçme halkaları ve kalibre edilmiş diskler, üniversal test aletleri (artefact) kullanılmaktadır. Özel olarak dizayn edilmiş test aletleri üniversal uygulamalar için endüstriyel alanlarda ve kalibrasyon laboratuvarlarındaki yardımcı testlerde kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar ve sağlanan tecrübeler temelinde, test aletlerinin dizaynı ve mukayeseli ölçmelerin yapılma durumları için genel kurallar formüle edilebilmektedir. Beş adet çelik top ile hazırlanan özel tasarım bir test aleti; pozisyon, düzlemsellik, diklik ve açısız ve boyutsal karakteristiklerin hesaplanması gibi boyut ve şekil sapmalarının kontrolünü sağlamaktadır. Aynı zamanda üç eksen yönündeki hataları ortaya çıkarmaktadır. Böylece test aleti üç farklı yüzeyde üç boyutlu ölçmelere izin vermektedir (Durakbaşı ve Akdoğan, 2003).

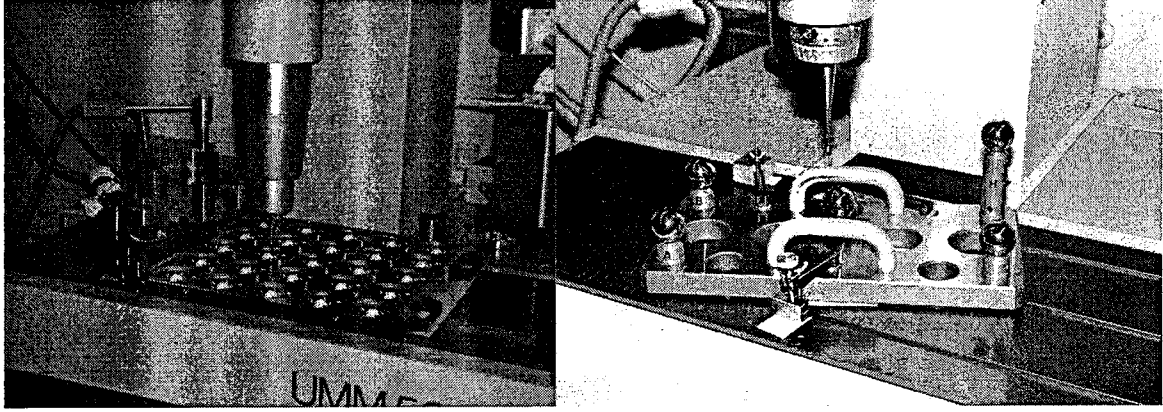


Şekil 10.3 Standart adım bloklarıyla kalibre edilen bir CMM (Mitutoyo America Corp)

Test aletinin sahip olması gereken diğer önemli karakteristikleri şunlardır;

- Mekanik ve termal kararlılığı
- Farklı kontrol ölçümleri arasında bir karşılaştırmayı garanti eden uzun ömürlü stabilitesi
- Ölçülen karakteristiklerde iyi bir yüzey kalitesi

- CMM'lerin minimum ve maksimum ölçme aralıkları (range) ile otomasyonun farklı seviyelerine uygulanması
- Çevre/yaşam koşullarına adaptasyonunun kısa bir zaman alması.



Şekil 10.4 CMM kalibrasyon prosesleri (Durakbaşa ve Akdoğan, 2003)

CMM'in, imalatçıları tarafından gözlenen yalnızca iki önemli özel koşulu bulunmaktadır. Bunlar operasyonel ve çevresel durumlardır. Bu test aleti ile ilgili bilgisayara kolayca adapte edilebilen çok farklı software sistemleri mevcuttur. Ölçme ve ölçme stratejileri yöntemleri benzer olmaktadır (Durakbaşa ve Akdoğan, 2003).

Temel olarak CMM cihazının belirsizliğini saptamak için standart, sertifikalı etalonlar üzerinde belli noktalarda ölçüm yapılmakta daha sonra mühendisinden CMM operatörüne herkesin katılabileceği şekilde bir beyin fırtınasıyla belirsizlik kaynakları saptanmaktadır. Proseste cevaplanması gereken temel sorular şunlardır,

- Etalonların kalibrasyon belirsizlikleri nelerdir?
- Etalonlar akredite edilmiş bir laboratuvar tarafından kontrol edilerek belirsizlikleri saptanmış mıdır? Şayet yapılmamışsa elde edilen tüm veriler yetersizdir ve kullanılamaz.
- Ölçme prosesinin tekrarlanabilirlik değeri nedir? Bu değere istatistiksel bir çalışmayla ulaşılabilir.
- Hizalama veya iş parçası koordinat sistemi stabil midir? Değilse bu ölçme prosesini nasıl etkiler? Normal olarak bunun etkileri oldukça küçük olmaktadır ancak özellikle ölçme başlangıç noktası seçiminde problemlere sebebiyet verebilmektedir.
- Etalonlar ölçme prosesi esnasında plastik veya elastik olarak biçim değişimine uğruyor mu?
- Cihazın ve kalibrasyon ekipmanlarının proses esnasındaki sıcaklıkları ne ölçüde biliniyor?

- Sıcaklık algılayıcıların belirsizlikleri nelerdir? Cihazı kim kalibre etmiştir ve kalibrasyon ünitesini kim akredite etmiştir? [6]

CMM' ler için üç tür belirsizlik tanımlamak mümkündür.

- CMM imalatçısı tarafından bildirilen belirsizlik değeri (U_A)
- CMM kullanıcısının saptadığı belirsizlik değeri (U_B)
- Belirsizlik bütçesinde yer alan belirsizlik değeri (U_C)

Buradan da görüldüğü üzere CMM için belirsizlik tespiti imalatçısında başlamaktadır. ISO ve VDI'a göre saptanmış uzunluk ölçümü belirsizliği değeri cihazın genel performansı için bir kriter kabul edilmiştir. Bununla birlikte birçok kullanıcı ölçme görevleri için belirsizliklerin saptanmasını daha yararlı görmektedirler. U_B deneyimlere, bilinenlere, benzer ölçümlere için saptanmış belirsizlik değerlerine göre seçilmektedir. U_C belirsizlik değeri ise işletmede sorumlu mühendis veya ekip tarafından analitik ve istatistiksel yollarla belirlenmektedir.

Her normal ölçme prosesinde olduğu gibi CMM ölçümlerinde de belirsizlik oranı ölçme işleminin zorluğuyla orantılı olarak artış göstermektedir. Genel ölçüm işlemlerini boyutsal ölçümler, 3D şekil ölçümleri, açısal ölçümler, doğrusal ve düzlemsellik ölçümleri adı altında 5 kategoride toplayabiliriz. CMM'lerle yapılan uygulamalarda U_B değerleri, gerçek belirsizlik değerleriyle karşılaştırılırsa düzlemsellik ve doğrusal ölçümleri için en uyumlu sonuçlar elde edilmektedir. Boyutsal ölçümlerin hemen hemen onlara yakın tamlıkla tahmin edilebilirken 3-D yüzey ölçümleri ve açısal ölçümlerde tahmin edilen belirsizlik sonuçları ve gerçek belirsizlik değerleri ancak %50-60 arası uyum gösterirler. Bu sonuçların en temel nedeni açısal ölçümlerin ve koaksiyelliğin kullanıcılara geometrik zorluklar çıkarmasıdır (Hansen, ve Chiffre, 1999).

11. HATA ANALİZLERİ

11.1 Hata Analizlerinin Gerekliliği

Bugün kalite sistemleri sürekli gelişimi temel almıştır. Dolayısıyla imalat sistemlerinin sürekli kontrolü, analizi, geliştirilmesi endüstrinin genel bir zorunluluğudur. Üretim sistemlerinin geliştirilmesi parça dizayn aşamasından başlayarak tüm imalat prosesinde devam etmektedir. Üretim süreçlerinin kontrolünde yalnızca üründe oluşan hataların saptanması ve hatalı parçaların ayıklanmasının modern kalite anlayışında artık yeri kalmamıştır. Toplam kalite yönetimiyle birlikte proseste tam bir hakimiyet gerekmektedir. Bunu sağlamak için pek çok araç kullanılmaktadır. Modern kalite anlayışına göre imalattan, proses kontrolünden, ürün kalitesinden sorumlu mühendisler imalat hataları üzerinde, henüz imalat başlamadan, dizayn aşamasında çalışmış, önlemler, dizayn değişiklikleriyle tedbirler almış olmalıdırlar.

Üretici firmaların ürün emniyet ve güvenilirliğini garanti etmeleri, Amerika ve Avrupa'dan sonra, artık Türk üreticileri için de bir yasal zorunluluk haline gelmiştir. Ürün sorumluluğunun yasal yönden anlamı, kusurlu ürün tarafından yaratılan hasarlar için ürünü üreten veya satanın sorumlu olmasıdır. Ürün kusurlarının ürünün garanti dahili veya garanti süresinden sonra çıkması durumunda da, tüketiciyi koruma yasalarının uygulandığı ülkelerde, ürün üreticilerinin, ciddi cezalar almalarını ve önemli miktarlarda tazminatlar ödemelerini gerektirmektedir.

Buna iki örnek, General Motors tarafından üretilen 1987 model Chevrolet Blazer jipiyle kaza geçiren bir Amerikalı sürücüye ödenen 150 milyon dolar tazminat ve 1979 model Chevrolet Malibu marka otomobilin yakıt deposu hatası nedeniyle bir aracın arkadan çarpılması sonucu alev alması ve otomobilde bulunan 6 kişiye, iz bırakan yanıklar nedeniyle, Los Angeles mahkemesince, General Motors tarafından 4.9 milyar dolar tazminat ödenmesi kararının verilmesidir. Bu ve benzeri sıra dışı olaylar elbette firmaya ağır bir mali yük getirmemiştir. Ancak büyük bir prestij kaybı olduğu da tartışılmazdır. Bu sebeple her yıl otomotiv, bilgisayar, beyaz eşya, telekomünikasyon vb. birçok sektörde ürün geri çağırma gerçekleştirilmektedir. Ürün geri çağırma, firmanın mamulündeki fonksiyonel bir hatayı fark ederek ürünü aynı veya daha üst bir modelle değiştirmesidir. Bu proses büyük bir kaza dolayısıyla maddi, manevi zararı engellemek amacı güden bir sigorta gibidir. Bununla birlikte ürün geri çağırma da büyük bir imalatçı için istenmeyen, statüsünü sarsan bir durumdur.

Hata analizi programları bu mantıkla oluşturulmuş imalat safhasında karşılaşılabilecek hatalar henüz dizayn aşamasındayken araştırılması, muhtemel çözümler üretilmesi amaçlanmıştır.

Dünyanın en büyük otomotiv şirketlerinden olan Ford, General Motors ve Chrysler otomobil, ürün güvenilirliğini sağlamak ve ürünün 10 yıl süreyle ortaya çıkaracağı her türlü riski ortadan kaldırmak amacıyla, kendi ürün ve süreç geliştirme çalışmalarına başlamış ve tedarikçisi konumundaki Yan/Yardımcı Sanayilerine de bu tekniği uygulama zorunluluğu getirmiştirler. Bu hata analizleri Hata Türü ve Etkisi Analizi (FMEA), simülasyon, modelleme vb. yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

11.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis, (FMEA))

11.2.1 FMEA Kapsamı ve Özellikleri

Herhangi ürün veya proses için küçük bileşenlerden bütüne yapılan sistematik hata analizi, Hata türü ve etkileri analizi olarak isimlendirilmektedirler. FMEA ürün için potansiyel hataların ve etkilerinin değerlendirilmesini, hata etkilerini sönmüleyecek çalışmaların tanımlanmasını ve prosesin belgelenmesini amaçlamaktadır. Bu çeşit analiz çalışmaları eskiden beri yapılmışsa da ilk ciddi FMEA uygulamaları havacılık sanayinde 1960'ların ortalarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar bazı küçük değişimler göstermek suretiyle proses veya dizayn için yapılabilmektedir. Bugün sürekli gelişme politikası çerçevesinde özellikle otomotiv sanayinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (FMEA, 1995; [8]).

Güvenilirlik değerlendirmeleri tüm kompleks, yüksek sermaye ve riskli uygulamaların olduğu dallarda dizayn prosesinin vazgeçilmez bir parçası haline almaktadır. Burada amaç sistemin anahtar bölgelerini ve potansiyel sorun yaratabilecek bölgelerinin dizayn aşamasından başlayarak gözönüne alınmasıdır. Böylece benzer sistemlerle mukayese imkanı, bununla birlikte konstrüksiyon ve operasyonlar üzerinde sistemin güvenliğini arttıracak daha derin bir birikim oluşmaktadır (Hawkins ve Woolons, 1998).

FMEA çok yönlü bir teknik olup, İleri Ürün Kalite Planlama (APQP), problem çözme veya sürekli iyileştirme için kullanılabilir. Aynı zamanda, hem ürün tasarımında, hem de üretim ve montaj proseslerinde uygulanabilmektedir. FMEA'nın ürün tasarımı ve üretimde ciddi olarak uygulanması, ürün kusurlarının sayısında da önemli bir azalma sağlamaktadır.

Bir ürünün ömür çevriminde, ortaya çıkacak kusurlarının önceden tahmin edilebilir bir şablon oluşturduğu bilinir ki, buna "küvet eğrisi" denir. Küvet eğrisinin üç farklı safhası vardır([9]; [10]):

- Başlangıç periyodu
- Verimli ömür periyodu

- Eskime periyodu

Bir Tasarım FMEA, ürün tasarımının amaçlanan uygulama için elverişliliğini garanti etmektedir. Daha geliştirme safhasında FMEA uygulanmış bir üründe, verimli ömür ve eskime periyodu hataları çok az ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak daha az ürün hataları daha çok müşteri tatmini, bunun sonucu olarak da daha geniş pazar payı sağlamaktadır.

Başlangıç periyodunda, hata miktarları oldukça yüksek olmaktadır. Bunlar üretim ve montaj kusurlarından oluşmaktadır. Kusursuz bir Proses FMEA çalışması, hem üretim ve montaj kusurlarının önceden belirlenip ortadan kaldırılmasını sağlamakta, hem de tam bir kontrol planı hazırlanmasına yardımcı olmaktadır.

Verimli ömür periyodunda, hata oranları yatay olarak devam etmektedir. Hatalar rastlantısal olarak ortaya çıkmakta ve genelde ürün tasarımındaki bazı yetersizliklerden kaynaklanmaktadır.

Eskime periyodunda, hata miktarlarının artmaya başladığı gözlemlenmektedir. Bu hataların bazıları normal yaşlanmadan kaynaklansa da, bazıları da tasarımın yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

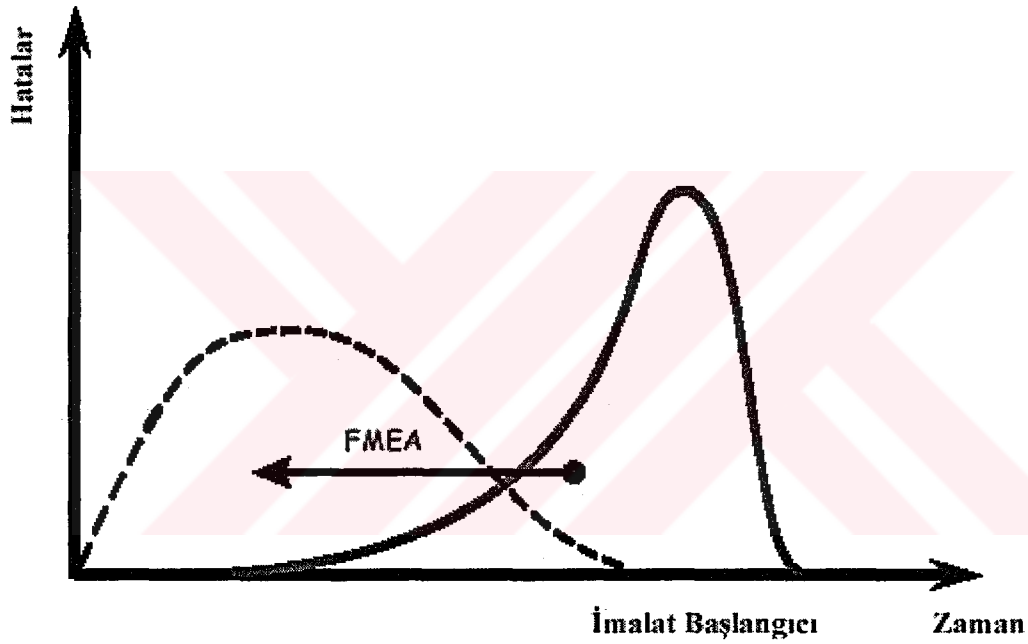
FMEA'nın ciddi ve geniş kapsamlı bir uygulaması yapıldığında, her üç safhada ortaya çıkacak hata türlerinin miktarının önemli derecede azaldığı gözlenmektedir. Örneğin, bir Proses FMEA, ürün kusurlarına neden olan üretim ve montaj yetersizliklerini daha işin başında düzeltmekte, bunun doğal sonucu olarak da, daha az başlangıç periyodu hataları oluşmaktadır [9].

Uygulamalar FMEA'nın en büyük probleminin zaman periyodu olduğunu göstermektedir. FMEA bir dizayn prosesi değildir, ancak dizayndan önce tamamlanarak müşteriye sunulmak durumundadır. Bir çok uygulamada FMEA analizleri dizayn prosesinden daha uzun sürmektedir. Bu sebeple bugün bu analiz sürelerini kısaltmak için yeni yaklaşımlar, otomasyon çalışmaları üzerine durulmaktadır (Hawkins ve Woolons, 1998).

FMEA mühendislik sistemleri, fonksiyonel diyagramlar ve şematik çizimlerle ürün veya prosesin tam bir tanımlamasını oluşturmak durumundadır. Büyük sistemler bölünüp sınıflandırılmak suretiyle alt sistemler oluşturulmaktadır. Burada parçalar sistemin en küçük değiştirilebilir parçalarına gidecek şekilde bölünebilmektedir. Böylece sistem alt sistemler ve bileşenlere ayrılmaktadır. Her bölümde analiz, o kısım için bilinen hata faktörlerinin tanımlanmasıyla başlamakta ve etkilerinin saptanmasıyla ilerlemektedir. Böylece yavaş yavaş

üst seviyelere çıkılmaktadır. Tam bir analiz, bir borudaki çatlakın tüm bir uçağın sistemini nasıl etkilediğinin saptanması gibi tüm seviyeleri kapsmalıdır. FMEA bileşenlerin özellikleri hakkında geniş bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Bunun için istatistiksel veriler ve birtakım diyagramlar kullanılmaktadır (Hawkins ve Woolons, 1998).

Burada hataların ortaya çıkma olasılığı, hatanın müşteri gözündeki anlamı hataların yakalanabilme olasılığı faktörleri değerlendirilerek risk öncelik sayısı belirlenmektedir. Alınması gereken önlemler FMEA formlarına aktarılmakta ve analiz edilmektedir. FMEA yalın bir sisteme (ürüne) uygulandığında çok etkili olmaktadır. Karmaşık sistemlerde potansiyel hataların çok sayıda ve birbirine girmiş olması, sebeplerin tespit edilebilirliğinin ekonomik olmaması FMEA uygulamalarını güçleştirmektedir [8].



Şekil 11.1 FMEA'in imalat prosesine etkisi [11]

FMEA kısaca, bir mamulde oluşabilecek tasarım ve/veya proses kökenli tüm hata türlerinin sistematik olarak yapılan bir analizidir. Her tür hatanın, müşteri üzerinde oluşturacağı olası etkilere göre analizler yapılmakta ve bu analizlerin hepsi ürün daha pazara çıkmadan önce, hatta tasarım ve/veya deneme üretimleri sırasında gerçekleştirilmektedir. Böylece herhangi bir hatanın daha oluşmadan önlenmesi sağlanmaktadır ([8]).

11.2.2 FMEA'in Amacı ve Sonuçları

Hata türü ve etkileri analizlerinin esas amaçları şunlardır;

- Hata türlerini, etkilerini ve kritiklerini kararlaştırmak,
- Ürünün kritik (tehlikeli) hatalarını belirlemek,
- Hataları, kusurları, arızaları ve kritikleri ortadan kaldıracak veya en aza indirecek; değişiklikleri, yöntemleri ve testleri uygulayarak, ürünü en son mükemmel haline getirmeyi başarmak.

FMEA çalışmaları sonuçları ise;

- Hata giderilinceye kadar prosesin durması veya devam etmesi,
- Hataları önleyecek programlar hazırlanır,
- Makina, tezgah ve proses akışını gerçekleştiren donanımda hangi elemanların yenilenmesi gerektiği belirlenir,
- Dizayn ve özelliklerinde ne gibi değişikliklerin yapılacağı,
- İhtiyaç duyulan bakım süresi ve gerek duyulan bakım araç-gereci,
- Gerekli görülen testler,
- Bakım, operasyon, kontrol talimatlarında yapılacak değişiklikler belirlenir [8]

Uygun hazırlanmış bir FMEA çalışması için şu avantajlardan söz edilebilmektedir;

- Dizayn ve imalat verimliliğinin artırılması
- Son dakika problemlerinin ortaya çıkma şansını azaltmak
- Üründe ortaya çıkabilen hataların minimize edilmesi
- İşletme kayıtlarını genişletmek
- Müşteri memnuniyetini garantilemek

FMEA'nın sınırlamaları için ise şunlar söylenebilmektedir.

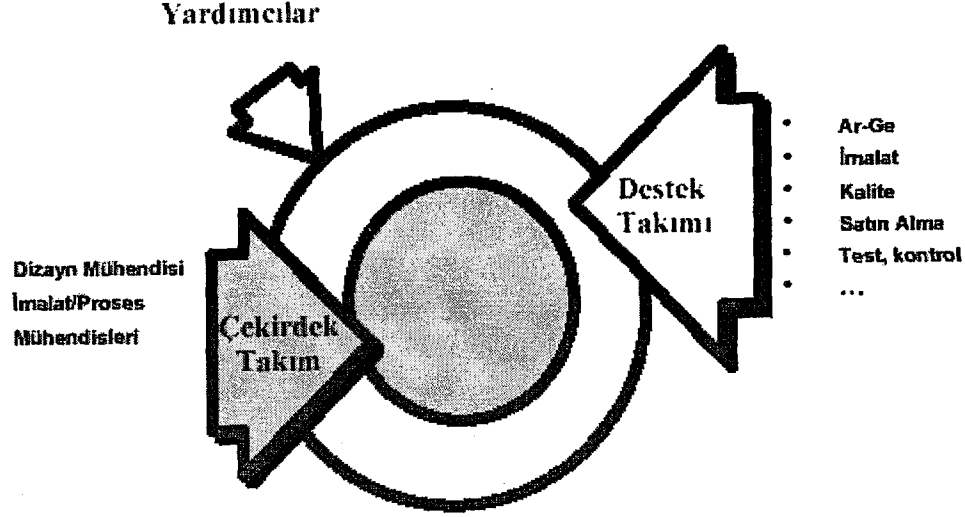
- Çalışanların eğitilmesi bir gerekliliktir
- Ürün ve imalat takvimlerinde gerilemeler oluşturmaktadır
- Dizayn, imalat, proses, donanım yenilemesi, geliştirilmesi geniş ekonomik kaynaklar gerektirmektedir [11].

11.2.3 FMEA Programı Yürütücüleri ve Sorumluları

FMEA bir ekip çalışmasıdır ve mühendislerden oluşan bir grup tarafından yapılmalıdır. Bu ekip dizayn, imalat, hizmet, güvenilirlik ve kalite üzerinde uzmanlaşmış mühendisler olmalıdır (FMEA, 1995).

FMEA ekibi temel olarak üç birim altında toplanabilmektedir. Çekirdek takım direkt olarak imalat veya dizayn üzerine çalışan uzman mühendislerdir. Toplanan verilerin yönetimi ve

işlemin sorumluluğu bu grup üzerindedir. Destek takımı çekirdek ekip için lojistik destek sağlamakta, gerek veri gerekse insan gücü olarak istenildiği takdirde çalışmalara katılmaktadır. Bunlar dışında FMEA çalışmalarında gereksinim duyulan, beyin fırtınalarına, analiz çalışmalarının katılan her birim yardımcı ekip olarak anılmaktadır (FMEA, 1995).



Şekil 11.2 FMEA ekipleri [11]

Ekip üyeleri; incelenecek olan konuda bilgili, tecrübeli ve yapılacak olan işin gerektirdiği yetki ve kişilerden oluşturulmalıdır. Genelde oluşturulacak ekibin özelliğine göre de Tasarım FMEA için üretim, kalite güvence, servis, satın alma, Ar-Ge, Proses FMEA için tasarım, kalite kontrol, metod geliştirme ve malzeme departmanlarından uygun nitelikteki kişilerden oluşturulmasında yarar vardır [8].

11.2.4 Tasarım ve Proses için FMEA

11.2.4.1 Tasarım FMEA (Design FMEA, DFMEA)

Tasarım (dizayn) FMEA deneme safhasından önce, tasarım esnasında yapılmaktadır. Fakat karmaşık ürünlerde, ana riskli bölgeleri bulup ortaya çıkarmak için sistem geliştirilmesi esnasında veya bazı durumlarda ürün fizibilite çalışması esnasında da yapılabilmektedir. Ürün tasarımında, konstrüksiyon düşünceleri, taslak aşamasındaki bilgiler ve tecrübeler yardımı ile üretim aşamasında ve sonrasında hatalara neden olabilecek zayıf noktaların belirlenmesi ve değerlendirilmesi çalışmalarıdır [8].

Ürün, kolay incelemek amacı ile bölümlere, alt elemanlara ayrılabilen; mühendislik dizayn verileri gözden geçirilmektedir. Her bir montaj elemanının fonksiyonları, etkileri,

ilişkileri değerlendirilmektedir. Blok diyagramları kullanılmaktadır. Blok diyagramında montaj elemanları ve fonksiyonları listelenmektedir. Ürüne etkisi olabilecek operasyonel ve çevresel hata mekanizmaları tespit edilmektedir; elemanların potansiyel hataları belirlenmektedir. Bazı elemanların birden fazla potansiyel hataya sahip olması mümkün olmaktadır. Potansiyel hataların bir sonraki montaj operasyonunda veya nihai üründe meydana getirebileceği sonuçlar analiz edilmektedir. Hataları önleyecek veya kontrol altında tutacak düzeltici faaliyetler hazırlanmaktadır. Ürün elemanlarının hata olasılıkları deneyimlerden faydalanılarak tespit edilmektedir, bu veriler doğrultusunda bütün sistemin hata olasılığı güvenilirlik teorisiyle hesaplanmaktadır (FMEA, 1995; [8]).

Tasarım FMEA malzeme, şekil ve büyüklük, üretim teknolojisi, uygunlaştırma, temel fonksiyonlar, toleranslar, parça ömrü, servis kolaylıkları vb. tasarım konuları kontrol etmektedir [8].

Tasarım FMEA dizayn gereksinimlerinin ve alternatiflerinin objektif bir değerlendirmesini yapmak, imalat ve montaj için dizayna yardımcı olmak, dizayn ve geliştirme prosesinde potansiyel hataların ürün ve imalat üzerine etkilerinin ayrıntılı bir analizini yaparak dizayn verimliliğinin planlanmasına yardımcı olmak suretiyle tasarım safhasında potansiyel hataları azaltmaktadır (FMEA, 1995).

DFMEA'in imalat sistemine uygulanmasında şu noktalar önem kazanmaktadır;

- Dizayn prosesi sonuçlanmadan tamamlanmış olması gerekmektedir.
- Ürün geliştirme safhalarından alınan verilerle, yeni bilgilerle sürekli güncellenmelidir.
- İmalat resimleri ve diğer imalat ihtiyaçları atölyeye verilmeden FMEA temelinin oluşturulmuş olması gerekmektedir.
- Tasarımdaki amaçlar ve kabuller belirtilmelidir.
- Dizaynda potansiyel zayıflıklara sebep olacak proses kontrolleri üzerinde yoğunlaşmaz, ancak imalat veya montaj prosesinin teknik ve fiziksel sınırları üzerinde durulmalıdır [11].

11.2.4.2 Proses FMEA (Process FMEA, PFMEA)

Proses FMEA, üretim teçhizatının tanımlanmış olduğu ancak prosesin henüz başlamadığı noktada yapılmaktadır. Planlanan ve mevcut üretim makinalarında, montaj ve üretim akışlarında, üretim tekniklerinde ortaya çıkabilecek zayıf noktaların ve potansiyel hataların, tasarım sonuçları ele alınarak değerlendirilmesi ve belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir [8].

Proses FMEA, mamulün proseslerindeki potansiyel hatalarını belirleyen analitik bir tekniktir. Hataların olası müşteri tepkisini yorumlamakta, olası üretim veya montaj proseslerindeki hata sebeplerini belirlemekte ve bunların önceden saptanıp önlenmesini, kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Risk öncelik sayısını oluşturulmakta, bu sayının büyüklüğüne göre düzeltici önlemler önem sırasına göre alınmaktadır. Disiplinli bir gözden geçirme ile de yeni bir mamulün daha planlama aşamasında, üretim esnasında oluşabilecek hatalarına çözüm bulunabilmektedir (FMEA, 1995).

Proses FMEA aynı zamanda yeni bir makina veya ekipman prosesinin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır. Metot aynıdır; sadece dizayn edilmekte veya satın alınmakta olan makine, ürün olarak düşünülmemektedir.

Proses FMEA ile; cihazlardan kaynaklanan hatalar ve insan kaynaklı hatalar üzerine analiz çalışması yapılmakta ve bunu yaparken personelin eğitiminin uygunluğuna, iş döngüsü ve prosedürlerin uygunluğuna, akış uygunluğuna, tesislerin uygunluğuna, kontrol döngülerinin uygunluğuna, kontrol cihazlarının uygunluğuna, bakım sıklığına dikkat edilmektedir [8].

Proses FMEA'nın imalat sistemlerine uygulanmasında aşağıda belirtilen noktalar önem kazanmaktadır;

- Tüm imalat operasyonlar, her bir montaj bileşeni ayrı olacak şekilde belgede yer almalıdır.
- Proses üzerinde zayıflıklara etken olan dizayn değişiklikleri üzerinde durulmamalıdır.
- Ürünün planlanan imalat veya montaj prosesini etkileyen dizayn karakteristikleri göz önüne alınmalıdır.
- Ürünün müşterinin taleplerini, ihtiyaçlarını karşılamasını garanti etmelidir [11].

11.2.5 Blok Diyagramı

Blok diyagramları FMEA çalışmasının temel aracıdır. Bu diyagram endüstri kollarına hatta işletmelere göre değişimler gösterebilir de temel olarak aynıdır. Diyagram FMEA çalışması boyunca saptanan her hata, bu hataların proses veya dizayn üzerindeki etkileri, özellikleri, alınabilecek önlemler ve bu önlemler sonucunda ortaya çıkan sonuçları rasyonel bir biçimde pratik olarak bir araya toplamaktadır. Ana sistem veya alt sistemler için yapılabilmektedir.

Şekil 11.3'de dizayn FMEA için otomotiv endüstrisinde kullanılan standart bir blok diyagramı gösterilmektedir (FMEA, 1995).

Akabinde blok diyagramının kısımları ve doldurulması açıklanmaktadır.

FMEA numarası, işletmede yapılan analiz çalışmalarını karakterize etmek ve sınıflandırmak için kullanılan bir numaradır.

Sistem, alt sistem, bileşen, önceki bölümlerde değinildiği gibi FMEA komplike sistemlere uygulanırken alt sistemler ve bileşenler ayrı parçalar gibi değerlendirilmekte daha sonra ayrı olarak yapılan tüm analizler birleştirilmektedir. Burada yaptığımız analiz çalışmasının hangi parça için yapıldığı karakterize edilmektedir.

Tasarım sorumlusu, işletmede yapılan bu çalışma için sorumlu kişi veya kısım bildirilmektedir.

Hazırlayan kısım, bu bölüme analizi gerçekleştiren bölümün ismi yazılmaktadır.

Model (yıl) / araç, otomotiv endüstrisi için hazırlanmış bir diyagram olduğundan model, araç terimleri vardır. Burada sistemin bağlı olduğu ana birimin ismi yazılmaktadır.

Anahtar tarih, dizaynın tamamlandığı tarihi aşmaması gereken FMEA tarihidir.

FMEA tarihleri, FMEA'in başlangıç tarihi ve revizyon tarihi burada belirtilmektedir.

Çekirdek takım, FMEA analizini gerçekleştiren imalat, proses, dizayn mühendislerinin isimleri belirtilmektedir.

Fonksiyon, öncelikle analiz edilen parçanın ismi daha sonra işlevi yazılmaktadır. Bununla birlikte parçanın çalışma ortamıyla ilgili bilgi eklenebilmektedir. Birden fazla fonksiyonu olduğu takdirde tüm fonksiyonların belirtilmesi gerekmektedir.

Potansiyel hata türü, bu kısımda dizaynla alakalı oluşabilecek tüm hatalar tanımlanmalıdır. Bu hataların saptanmasında gözönüne alınabilecek birçok faktör bulunmaktadır. Deneyimlere, raporlara, FMEA'in faydalandığı birtakım kalite araçlarına göre elde edilen veriler tüm ekibin katıldığı bir beyin fırtınasıyla yorumlanmalı ve potansiyel hatalar belirlenmelidir. Bunlar fiziksel veya teknik terimlerle tanımlanabilmektedir. İmalat proseslerinde çatlaklar, deformasyonlar, kısa devreler, kırılmalar, oksitlenme, sızdırma v.b. en çok rastlanılan hata türleridir.

Hatanın potansiyel etkileri, hatanın müşteri tarafından nasıl karşılanacağı, dizaynı veya prosesi nasıl etkileyeceği bu kısımda tanımlanmaktadır. Burada en önemli nokta potansiyel hataların cihazın fonksiyonu üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmaktır. Gürültü, kaba yüzey hassasiyeti, fiziksel görüntü bozulması, vb. birçok etki ile karşılaşmak mümkündür (FMEA, 1995).

Şiddet, şiddet kolonunda hatanın dizayn veya proses üzerine etkisinin miktarı, ciddiyeti değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme Çizelge 11.1'e göre yapılmaktadır.

Çizelge 11.1 Şiddet Değerlendirmesi

Etki	Etkinin Şiddeti	Değerlendirme
Uyarısız Yüksek Rizikolu	Hata yüksek ihtimalle can kaybı veya yüksek maddi hasara sebebiyet verir	10
Tespit Edilmiş Yüksek Rizikolu	Hata sistemin güvenlik şartlarından sapmasına neden olmaktadır.	9
Çok Yüksek	Hata ciddi boyutlarda müşteri şikayetine sebep olmaktadır	8
Yüksek	Hata Müşteri şikayetlerine neden olmaktadır	7
Orta	% 100 ürün iadesiyle sonuçlanmaktadır	6
Düşük	% 80 ürün iadesiyle sonuçlanmaktadır	5
Çok Düşük	% 60 ürün iadesiyle sonuçlanmaktadır	4
Az	% 40 ürün iadesiyle sonuçlanmaktadır	3
Çok Az	% 20 ürün iadesiyle sonuçlanmaktadır	2
Yok	Yok	1

Sınıf, bu kolon proses kontrolüne yardımcı olabilecek özel bir ürün karakteristiği olması durumunda bunu tanımlamak için kullanılmaktadır.

Potansiyel sebepler, mekanizmalar, hatanın mekanizması tanımlanmaktadır. Böylece alınabilecek önlemler için ilk adım atılmış olmaktadır. Bu sebepler yanlış malzeme seçimi, aşırı gerilme, yetersiz yağlama, kötü çevre koşulları, mekanizmalarsa akma, yorulma, sürünme, korozyon vb. olabilmektedir.

Oluşma sıklığı, hatanın kendini tekrarlama frekansının bir değerlendirmesidir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için aşağıdaki soruların cevaplanması gerekmektedir.

- Benzer bileşenlerin, alt sistemlerin servis ömrü ne kadardır?
- Bileşen önceki seviyedeki bileşenlerle veya alt sistemlerle benzer midir?
- Bir önceki seviyedeki bileşen veya alt sistemle değişim miktarı nedir?
- Bileşen önceki bileşenlerden büyük ölçüde farklı mıdır?
- Bileşen tamamen yeni bir parça mıdır?
- Bileşenin uygulaması değişmiş midir?
- Çevre koşullarında değişim var mı?

Oluşma sıklığı değerlendirilmesi için referanslarda oluşturulmuş, Çizelge 11.2 kullanılabilir (FMEA, 1995).

Çizelge 11.2 Hatanın kendini tekrarlaması değerlendirilmesi

Hata Olasılığı	Muhtemel Oranlar	Değerlendirme
Çok yüksek: Neredeyse kaçınılmaz	2' de 1	10
	3' de 1	9
Yüksek: Sürekli tekrarlanan hatalar	8' de 1	8
	20' de 1	7
Orta: Tesadüfi hatalar	80' de 1	6
	400' de 1	5
	2000' de 1	4
Düşük: Az rastlanan hatalar	15000' de 1	3
	150000' de 1	2
Zayıf: Ender hatalar	1500000' da 1	1

Mevcut dizayn kontrolleri, önlemler, dizayn kontrolleri ve diğer aktiviteler burada tanımlanmaktadır. Matematiksel modellemeler, yapılan her çeşit test, kontrol, simülasyon çalışması burada belirtilmelidir (FMEA, 1995).

Çizelge 11.3 Hatanın saptanabilme değerlendirilmesi

Saptanabilirlik	Dizayn Kontrolle Saptanma Oranı	Değerlendirme
Tamamen Belirsiz	Dizayn kontrol potansiyel dizayn zayıflıklarını saptayamaz veya kontrol yok	10
Çok Zayıf	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması çok zayıf bir ihtimal	9
Zayıf	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması zayıf bir ihtimal	8
Çok Düşük	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması çok düşük bir ihtimal	7
Düşük	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması düşük bir ihtimal	6
Orta	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması yarı yarıya bir ihtimal	5
Yüksek	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması yüksek bir ihtimal	4
Çok Yüksek	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını saptaması çok yüksek bir ihtimal	3
Çok Daha Yüksek	Dizayn kontrollerinin dizayn zayıflıklarını nadiren kaçırmaktalar	2
Tamamen Belirli	Dizayn kontrolleri dizayn zayıflıklarını daima saptamaktadır	1

Saptanabilirlik, potansiyel hata türleri veya zayıflıkların mevcut dizayn kontrol yöntemleriyle ne derece saptanabildiğinin bir değerlendirilmesidir. Çizelge 11.3 değerlendirme kriterlerini tanımlamaktadır. Düşük oranlara ulaşabilmek için genel olarak dizayn kontrollerinin titizlikle

planlanması ve geliştirilmesi gerekli olmaktadır.

Risk aciliyet katsayısı, bu katsayı analiz esnasında çekirdek takıma yardımcı olması için hesaplanan bir faktördür. Bir çok hata içinden hangisinin önce ele alınacağı, hangilerinin ihmal edilebileceği ve diğer öncelikler bu faktöre göre saptanmaktadır. Basit olarak şiddet, oluşma sıklığı ve saptanabilirlik oranlarının çarpılmasıdır.

$$R.A.K.=(S)\times(O)\times(S) \quad (11.1)$$

Çekirdek takım belli bir limitin altındaki hataların ihmal edilmesine karar verebilmektedir. Bu katsayı 1-1000 arasında herhangi bir değer olabilmektedir. Bunların birlikte pratikte şiddet değeri 8 veya üzerindeyse R.A.K. ne kadar düşük olursa olsun hata öncelikli kabul edilmekte ve çözüm için gerekli çalışmalar başlatılmaktadır.

Alınabilecek önlemler, R.A.K.'ya göre şiddet değeri de gözönüne alınarak üzerinde çalışılacak potansiyel hata belirlenir. Şiddet değerini ancak bir dizayn değişikliği düşürebilmektedir. Ortaya çıkma oranının azaltılması mekanizmalar ve sebepler üzerine daha hakim olunmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bazı durumlarda FMEA ekibi soruna bir çözüm bulamaz, bu durumda bir sonuca varılamadığı bu kısımda "alınabilecek önlem yoktur" şeklinde belirtilmelidir.

Sorumlu ve bitiş tarihi, bu kısımda alınabilecek önlem ve hedef tarih için sorumlu bölüm tanımlanmaktadır.

Alınan önlem, alınan önlem üzerine kısa bir tanımlama yapılmaktadır.

Sonuç R.A.K.'sı, değerlendirmeden sonra dizayn veya proses üzerinde bazı değişimler olacağı şüphesizdir. Bu kısımda önceden tanımlanmış düzeltici önlemlerin uygulanması halinde değişen risk aciliyet katsayısı tekrar hesaplanmaktadır. Ayrıca bu katsayıdaki değişim FMEA çalışmasının verimliliği hakkında yaklaşık bir fikir vermektedir.

Şekil 11.4'te Ford bünyesinde yapılmış bir proses FMEA için blok diyagramı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi diyagram temel olarak aynıdır. Kapıların cilalanması üzerine yapılan çalışmada risk katsayıları göze çarpan bir oranda düşmüştür (FMEA, 1995).

11.2.6 FMEA Araçları

FMEA gerek veri toplarken gerek verimliliğini kontrol ederken toplam kalite yönetimi dahilinde birçok araçtan faydalanmaktadır.

En çok kullanılan ve belki de tüm FMEA analizlerinin kalbi beyin fırtınasıdır. Analizin hemen her kademesinde bazen yalnız çekirdek takım bazen tüm FMEA grubu olarak beyin fırtınası yapılmakta şartlar değerlendirilmektedir [11].

Pareto diyagramları FMEA çalışmalarında kullanılan istatistiksel yöntemlerden biridir. Çoğunlukla hataların sebeplerine göre sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Az sayıdaki önemli sorunu çok sayıda önemsiz sorundan ayırma tekniğidir [12].



Şekil 11.5 Pareto analizi (Durakbaşa, 2001)

Sebebi sonuç diyagramları düzeltici faaliyetlerin nerede nasıl başlaması gerektiğini saptamak için kullanılan, sorunların nedenleri ile birlikte alt gruplara ayrılmasıdır. Beyin fırtınasıyla birlikte ürün ve proses karakteristiklerini analiz etmek, etkin faktörleri saptamak amacıyla kullanılmaktadır. En çok kullanılan ve çok popüler bir kalite tekniğidir .

Histogramlar FMEA tarafından faydalanılan diğer bir istatistiksel araçtır. Ölçüm sonuçlarının genel dağılımlarını takip etmek için kullanılmaktadır. Potansiyel hataların dağılımını saptanmakta, merkez değeri belirlenebilmektedir [11].

Tüm kalite kontrol sistemlerinde temel araç olan kalite kontrol kartları FMEA içinde bir veri kaynağıdır. Anormal dağılımların saptanmasında, proseslerin değerlendirilmesinde, kontrol limitleriyle karşılaştırmalar yapmada kullanılmaktadır. Bununla birlikte proses yeterliliği, makine yeterliliği değerleri kalite kontrol kartlarıyla birlikte FMEA sonuçlarını

değerlendirmek, geri besleme sağlayarak FMEA'in revizyonunu gerçekleştirmekte kullanılmaktadır. Proses yeterliliği T tolerans bölgesi genişliği olacak şekilde aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [8].

$$C_P = \frac{T}{6\sigma} \quad (11.2)$$

Dağılım diyagramları da gene FMEA tarafından kullanılan istatistiksel araçlardandır. Veriler arasındaki ilişkilerin saptanması ve düzeltici verilerin oluşturulması için kullanılmaktadır.

İstatistiksel araçlar birçok alanda FMEA prosesine yardımcı olsa da tamamen yeni bir ürün dizaynı için veya yeni bir imalat yöntemi oluşturmak için istatistiksel verilerden fazla bir temel oluşturulamaz. Bu durumlar için yapılabilecek en uygun şey FMEA ekibini birçok farklı bölümden imalat ve dizayn konularına tamamen hakim kişilerden oluşturmaktır [11].

11.2.7 FMEA Yazılımları

Hata analizlerinin en temel problemi nitelikli, konusuna tamamen hakim uzman bir kadroya ihtiyaç duymalarıdır. Büyük ölçekli firmalarda bu şartları karşılayacak değişik bölümler altında bir çok uzman çalışan olabilir. Ancak orta ölçekli ve küçük işletmelerde, yani yan sanayide işgücünün bu noktalarda kullanılması zor olabilmektedir. Gerek bu problemi çözebilmek gerekse karmaşık FMEA araçlarını daha basit, sistematik bir hale getirmek için FMEA yazılımları kullanılmaktadır [12].

FMEA yazılımları hiçbir zaman nitelikli uzman mühendislerin yerini tutamazlar, yalnızca kontrol planını, iş-akış diyagramlarını, sebep sonuç analizlerini bağlamakta, bir arada inceleme imkanı sunmaktadır. Güncelleme ve izleme çok daha kolay olmaktadır. Genel olarak %50' ye kadar zaman tasarrufu sağlamaktadır. Yazılım QS 9000 ve ISO/TS 16949 standartlarıyla tümleşik çalışabilmektedir. Bununla birlikte ileri ürün kalite planı, ürün kalite kontrol planı, dinamik kontrol planı pratik olarak hazırlanabilmektedir. Şekil 11.6 ve 11.7'de yazılım arayüzleri gösterilmektedir [13].

Total Quality System 9000 - [FMEA Revision History Form - ISP Software]

File Edit View Favorites Insert Format Records Filter Tools Window Help Calculator Status About TQS-9000

Project Number: 014375000 Edit Drop Down Lists Print Blank Report Preview FMEA
 Operation Number: 010 Revision Form Close
 Characteristic: Receive Material

Op No.	Op. Desc.	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect	Controls	Reaction Plan	Class	S	O	D	RPN
010	RECEIVE Material	Packing slip disassoci	Receiving clerk inexperience	Core inventory will show	Operator training, packing	Notify supervisor if material is		5	1	1	5
010	RECEIVE Material				Operator training, packing	Notify supervisor if material is		0	0	0	0
* 010											

Record: 14 of 2

Op.	Op. Desc.	Failure Cause	Old RPN	Area Resp.	Recommended Due Actions	Date	Actions Taken	New Sev.	New Occ.	New Det.	New RPN
010	RECEIVE Material	Receiving clerk inexperience	5					0	0	0	0
010	RECEIVE Material		0					0	0	0	0
* 010											

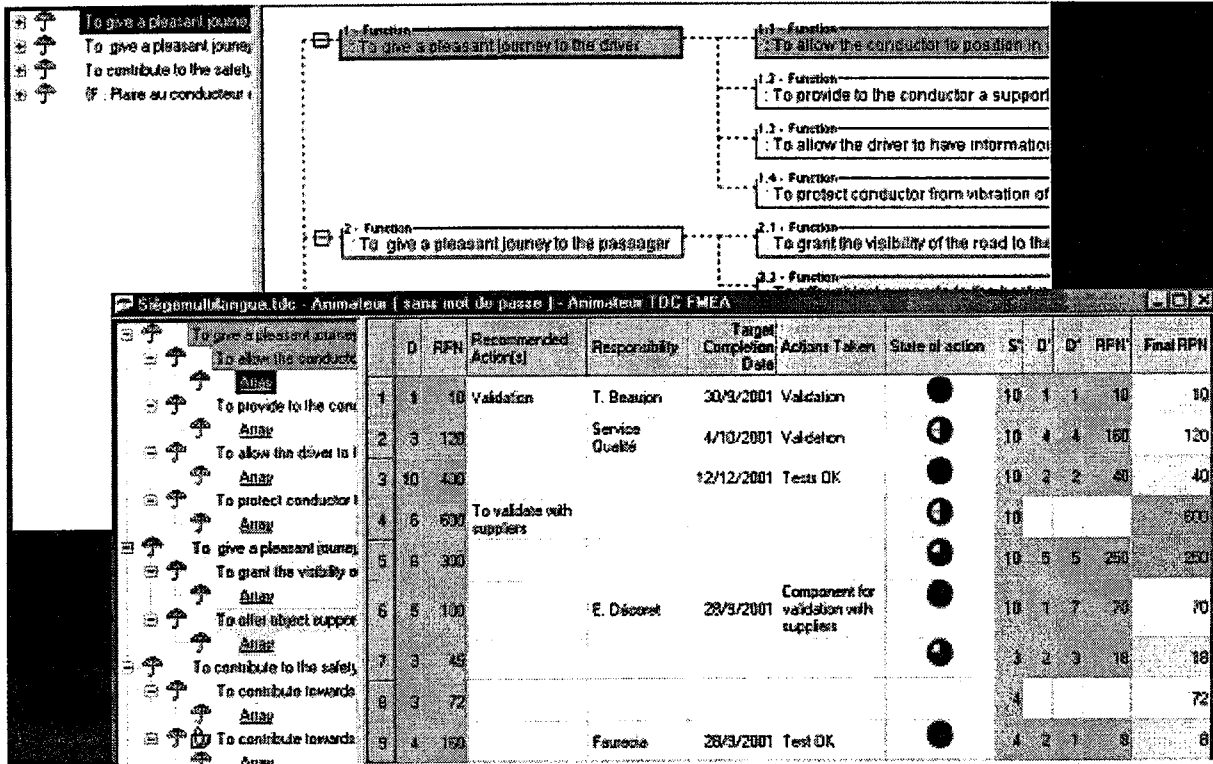
Record: 14 of 2

Record: 14 of 55 (Filtered)

Part/Project Number: FLTR

Şekil 11.6 ISP FMEA yazılımı arayüzü [13]

Sonuç olarak bu FMEA yazılımları zaman daha sistematik bir çalışma oluşmasına yardımcı olmakta, birtakım mekanik hesaplamaları yapabilmekte, kendi şartları çerçevesinde dizayn veya proses için tavsiyelerde bulunabilmektedir. Ancak FMEA'i organize edip tamamlaması için gene insan faktörü öne çıkmaktadır. Yazılımlar zaman kazandırsa da ilk yatırım maliyeti ve belli bir operatör eğitimi gerektirmektedir [14].



Şekil 11.7 TDC FMEA arayüzü [14]

12. UYGULAMA

Uygulama bölümünde üretim süreçlerinde kullanılan çeşitli ölçme cihazlarının belirsizliklerinin saptanması ve rapor edilmesi gösterilmiştir. Uygulama Parsat Piston Dağıtım Ticaret Sanayi Anonim Şirketi'nin kalibrasyon laboratuvarında ve imalat bantlarındaki kullanılan bazı ölçme cihazları üzerinde yapıldı. İşletme bünyesinde imal edilen pistonların muayenesinde 10000'in üzerinde master, çeşitli yüzey pürüzlülüğü, boyut ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazların her biri kullanım sıklıklarına göre 1-3 yıl arasında işletmenin kalibrasyon laboratuvarında kontrol edilmektedir. Kalibrasyon laboratuvarında kullanılan ikincil referans master ve ölçme cihazlarıysa her yıl UME'nin standart kalibrasyon laboratuvarında kontrol edilmekte ve belgelenmektedir.

Son on yılda oluşturulan standartlar çerçevesinde otomotiv sanayinde ürün standartları yükseltilmiş, ölçme cihazlarının tam kontrolü mecbur tutulmuş, kontrolün yapıldığı standart laboratuvarlar hakkındaki gereksinimler güncellenmiş, sürekli iyileştirme ve ürün geliştirme için kullanılan birtakım kalite araçlarının kullanılması zorunluluk haline getirilmiştir. İşletme ayda çeşitli boyutlarda ortalama 30-50 bin piston imal edilmektedir. İmalatın %70'inden fazlası ihraç edilmektedir. Dolayısıyla otomotiv sanayi tedarikçisi her firma gibi güncel standartları sürekli takip etmesi, taleplerini yerine getirmesi gerekmektedir.

Yapılan uygulamalarda gerek imalat bantlarında gerekse kalibrasyon laboratuvarında kullanılan masterların veya diğer ölçme cihazlarının kalibrasyonu prosesleri için GUM'a göre belirsizlik analizleri yapılmış, Belirsizlik Bütçeleri oluşturulmuştur.

12.1 Otomotiv Sanayinde Standartlar

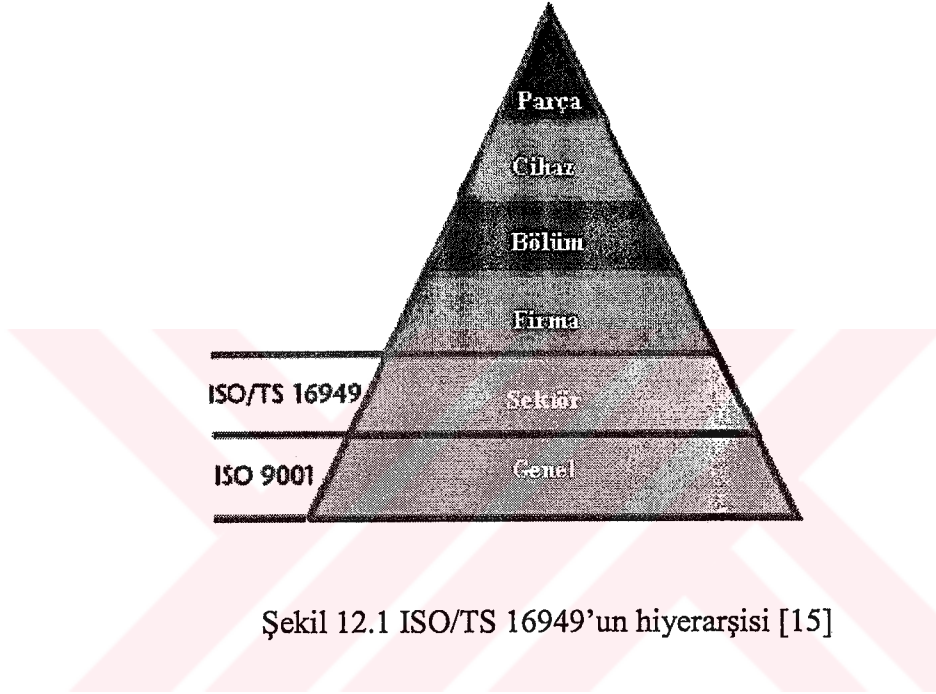
12.1.1 Otomotiv Sanayinde Kullanılan Standartlar ve Gelişimleri

1994 tarihinde üç büyük otomotiv imalatçısı (Ford, General Motors, Daimler-Chrysler) tedarikçileri için bir çok gereksinimler içeren bir kalite sistemi oluşturmuşlardır. Bu standart QS-9000 olarak isimlendirilmiştir. Gene aynı otomotiv imalatçıları Otomotiv Endüstrisi Etki Grubu (Automotive Industry Action Group, AIAG) adı altında bir organizasyon oluşturmuşlardır. Bugün 13000'den fazla tedarikçi QS-9000 standardıyla akredite edilmiştir.

Avrupa'da da önce Almanya'da Mercedes, Volkswagen, Audi, BMW ve Porsche'nin katılımıyla Alman Otomotiv Endüstrisi Birliği, (Verbund die Automobil Industrie, VDA) oluşturulmuş ve VDA isimli bir dizi standart yayımlamıştır. CCFA ve FIEV Fransa'da, ANFIA İtalya'da otomotiv imalatçılarının oluşturduğu birliklerdir. Bugün 20000'den fazla

tedarikçi bu otomotiv standartlarıyla akredite edilmiştir.

1997 tarihinde Uluslararası Otomotiv Görev Ekibi (The International Automotive Task Force, IATF) kurulmuştur. Bu grup Avrupa ve Amerika otomotiv birlikleriyle ve ISO'nun teknik komitesiyle TC 176, işbirliği içinde çalışmak suretiyle 1999 tarihinde ISO/TS 16949 teknik spesifikasyonunu yayımlamışlardır. 2002 tarihinde ISO TS 16949:2002 olarak revize edilmiştir [15].



Şekil 12.1 ISO/TS 16949'un hiyerarşisi [15]

Tüm bu teknik spesifikasyonların amacı kalite sistemleri için bir temel oluşturmak, sürekli gelişmeyi sağlamak, hataları engellemek, hata çeşitliliklerini ve tedarik sürecindeki ıskarta miktarını azaltmaktır. TS 16949 içinde firmaya, bölüme, cihaza veya parçaya özel gereksinimler yer almaktadır. ISO 9001 kalite sistemi her endüstri için, her organizasyon için kullanılabilirken TS 16949 yalnızca otomotiv tedarikçileri için uygulanabilmektedir.

TS 16949 QS-9000 ve VDA 6.1 standartları temel alınarak hazırlanmıştır ve tedarik zinciri için yeni bir seçenek olmuştur. Teknik olarak VDA veya QS-9000 standartları kullananların TS 16949'a geçmelerini gerektiren bir zorunluluk yoktur. Ancak bu işletmelerin, yeni standardın proses kontrol, ürün geliştirme yaklaşımlarından ve dolayısıyla bunların getirilerinden mahrum kalması kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca TS 16949 müşterilerde daha sağlam bir güven duygusu oluşturmaktadır.

Bununla birlikte TS 16949'a geçilmesini cazip hale getiren başka faktörler de mevcuttur.

ISO TS 16949:1999 versiyonuyla akredite edilmiş işletmelerin kalite sertifikaları Aralık 2003 tarihi itibarıyla geçersiz hale gelmiştir. Bu sebeple bu kuruluşların verilen tarihe kadar TS 16949:2002'ye göre akredite edilmeleri gerekmektedir. Ford ve General Motors tedarikçilerine 14 Aralık 2006'ya kadar QS-9000 standardının kullanımdan kalkacağını ve hepsinin TS 16949:2002'ye göre akredite edilmeleri gerektiğini duyurmuştur. Daimler-Chrysler bu son tarihi 1 Haziran 2004 olarak saptamıştır. PSA Peugeot Citroen TS 16949:1999'a uygun tedarikçilerinin 2002 spesifikasyonlarına uyum sağlaması için 15 Aralık 2004 tarihini son nokta tutmuştur. Görüldüğü üzere tüm dünyadaki otomotiv sanayini birleştiren geleceğin yegane standardı ISO TS 16949 olacaktır [16].

12.1.2 ISO TS 16949'un Getirdiği Yenilikler ve Faydaları

TS 16949 İleri Ürün Kalite Planlaması, Üretim Parçaları Onay Prosesleri ve bunların araçlarını tanımlamaktadır. Tarihsel gelişimleri incelenecek olursa büyük firmalar tedarikçilerinden bu çeşit analizleri 1960'lardan beri istemektedirler. Ancak 90'larda özellikle Amerika'nın üç büyük otomotiv imalatçısı kağıt üzerinde kalan alışılmış çalışmaları yerine daha çok beyin fırtınası, analiz, istatistik gerektiren APQP ve PPAP çalışmalarının gelişimine hız vermiştir. Büyük firmalar bu sistemi oturtuktan sonra tedarikçilerinden de aynı şekilde çalışmalarını beklemişlerdir. Otomotiv Endüstrisi Etki Grubu bu çalışmaların koordinatörü olmuştur.

TS 16949:2002'ye göre kuruluş, kalite politikası, kalite hedefleri, tetkik sonuçları, veri analizleri, düzeltici ve önleyici faaliyetler ve yönetimin gözden geçirmesi uygulamalarıyla Kalite yönetim sisteminin etkinliğini sürekli iyileştirmelidir. Sürekli iyileştirme ile ilgili bir proses tanımlanmalıdır.

Üretim prosesini iyileştirmede; kontrole, proseslere hâkim olmaya, ürün özelliklerinin ve üretim prosesi değişkenlerinin dağılımlarının, değişimlerinin azalmasına sürekli odaklanılmalıdır. Sürekli iyileştirme yapabilmek için her şeyden önce imalat prosesinin yeterli ve kararlı olması, ürünün beklenen özellikleri karşılaması ve müşteri tatmininin sağlanmış olması gerekmektedir.

İşletme bünyesinde hata analizleri gerçekleştirilmesi, hataların tekrarlanmalarının önlenmesi, sebeplerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Hata sebeplerinin belirlenmesi ve giderilmesi için rehber bir sistem tanımlanmış olmalıdır. Eğer müşteri tarafından belirlenen bir problem çözme şekli varsa; kuruluş bu aracı kullanmalıdır. İşletme müşterinin iade ettiği ürünleri titizlikle analiz etmeli, bunu yaparken analiz süresi mümkün mertebe aza

indirilmelidir. Her proses belgelenmeli ve gerektiğinde ulaşılabilecek şekilde kaydedilmelidir (ISO/TS 16949, 2002).

TS 16949:2002'nin temel getirileri aşağıda görüldüğü gibi özetlenebilmektedir.

- Kapsamlı bir yönetim yaklaşımıdır.
- İşletme proseslerinin tam olarak bütünleşmelerini sağlamaktadır.
- Takım çalışmasını ön plana çıkartmaktadır.
- Hedeflerin, işletme yönerge sistemini oluşturma ve sürekli gelişme prosesine sistematik bir yaklaşımdır.
- Yönergelerle ilgili tüm proseslerde düzenli yönetim sistemi oluşturulmaktadır.
- Müşteri tatmininin düzenli kontrolü ve kıyaslaması yapılmaktadır.
- Planlama ve kazaların önlenmesi çalışmaları ön plana çıkartılmıştır.
- Hataların ve sonuçlarının sürekli kontrolünü zorunlu kılmaktadır.
- Müşteri güvenini arttırmaktadır.
- Güçlü ve zayıf noktaların, geliştirilebilirlik potansiyelleriyle birlikte gösterilebilmektedir.
- Otomotiv sanayi uygulamalarının ve amaçlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

12.2 GUM'a Göre Belirsizlik Bütçesi Oluşturulması

12.2.1 0.01 mm'lik Dijital Kumpasın Başlangıç Hatasının Bulunması

Dijital Kumpas, gerek imalat hatlarında gerekse kalibrasyon proseslerinde yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Ölçüm belirsizliğinin saptanması işletmenin genel profilini dolaylı ve direkt olarak etkilemektedir.

Cihazın başlangıç hatasının bulunması ve belirsizlik raporunun oluşturulması için ortam sıcaklığının kontrol edildiği bir işletmenin kalibrasyon laboratuvarında, 0-25 mm arasında 10 adet farklı ölçülerdeki Johnson mastarlarının ölçümü kumpasla gerçekleştirilmiştir. Her ölçme işleminden önce mastarın ve kumpasın sıcaklığı okuma hassasiyeti $\pm\%3$ olan lazerli kızılötesi bir termometreyle belirlenmiştir. Cihazın verdiği en büyük hata başlangıç hatasını verecektir. Çizelge 12.1'de alınan ölçüm sonuçları sıcaklık değerleriyle birlikte gösterilmektedir.

Cihazın tekrarlanabilirliğinin saptanabilmesi için 25mm boyutlarındaki Johnson mastarıyla 15 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları 24.98, 24.98, 24.98, 24.98, 24.98, 24.98, 24.98, 24.97, 24.98, 24.97, 24.98, 24.98, 24.98, 24.98, 24.98 ve standart sapmaları yaklaşık $3\mu\text{m}$ 'dir.

Çizelge 12.1 0.01 mm'lik dijital kumpasla yapılan ölçme sonuçları

Mastar Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Mastarın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
2.5	23	23	2.49
5	23	25	4.49
7.5	23	23	7.49
10	23	22	9.99
12.5	24	23	12.5
15	24	24	15
17.5	24	23	17.5
20	23	24	20
22.5	25	23	22.5
25	25	23	25

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 0-25 mm çalışma aralığında cihazın hata miktarını ölçmek.

Hedef Belirsizlik 8 µm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Kalibrasyon 0-25 mm arası 10 farklı boyutta Johnson Mastarı kullanılarak alınan sonuçlarla yapılmıştır

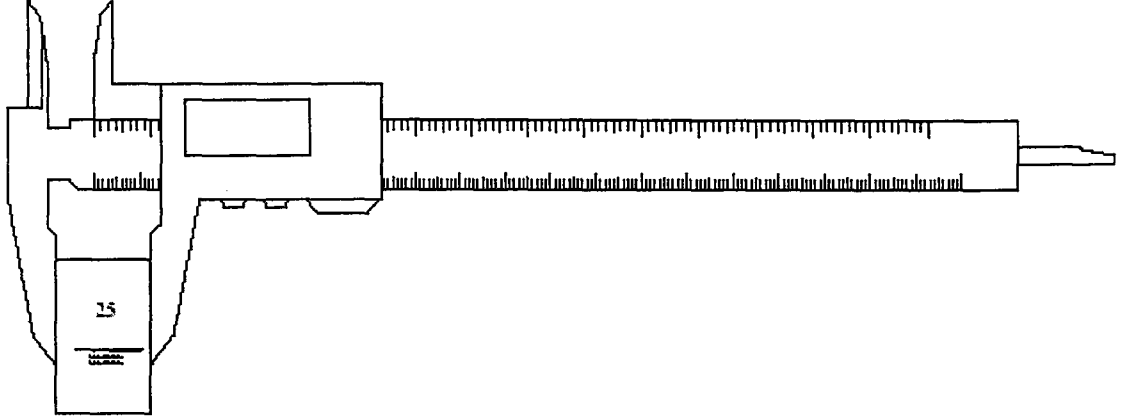
Başlangıç Prosedürü

- Uzunluk değeri bilinen mastar kumpasla ölçülür
- Ölçme işlemi parça sıkıştırılmış halde yapılır
- Her bir blok için hata değeri aşağıdaki gibi hesaplanır
Hata = Kumpastan alınan sonuç – Nominal değer

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli
- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
- Odanın bir saat içindeki sıcaklık değişimi 0.4 °C ' den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.2 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.2 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{SL}		Mastar Boyutu	Mastarın boyutlarının kararsızlığıdır.
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	0.01 mm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla mastar arası maksimum sıcaklık değişimi 2 °C'dir
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 5 °C 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{SL} Mastar Boyutu

Kullanılan Johnson Mastarının tolerans sınırları mertebesinde ISO 3650'den maksimum değer alınmıştır. $a_{SL}=0.6 \mu\text{m}$ 'dir. Standarttan alınan sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$u_{SL} = 0.6 \times b = 0.6 \times 0.6 = 0.36 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 25 mm'lik mastar üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Sonuçların standart sapması 3µm'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan 0.01 mm'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 2.8 \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan 3µm olarak kabul edilir.

A Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında mastar ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 2°C olmuştur. Mastar ve kumpas çelikten yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı α , 1.1 µm/(100mm x °C)'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 2^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.55 \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre (b=0.7)

$$u_{TD} = 0.55 \times 0.7 = 0.385 \quad 0.39 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma ± 5 °C'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Mastar ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınırsa:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 5^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.1375 \quad 0.14 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre (b=0.7)

$$u_{TA} = 0.14 \times 0.7 = 0.098 \quad 0.1 \mu\text{m}$$

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = \sqrt{0.36^2 + 3^2 + 0.39^2 + 0.1^2} = 3.048229 \quad 3.1 \mu\text{m}$$

k=2 güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 3.1 = 2 \times 3.1 = 6.2 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.3 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Mastar Boyutu	B	Dörtgen		0.6 μm	0.6 μm	0	0.6	0.36
Tekrarlanabilirlik	A		15			0		3
Sıcaklık Farkı	B	U		2 °C	0.55 μm	0	0.7	0.39
Sıcaklık	B	U		5 °C	0.14 μm	0	0.7	0.1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_c)								3.1
Genişletilmiş Belirsizlik (k=2)								6.2

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

Görüldüğü gibi en baskın belirsizlik bileşeni cihazın tekrarlanabilirliğidir. Bununla beraber cihazın belirsizliği hedef belirsizliğin altında kalmıştır. Görüldüğü üzere ortam sıcaklığının birleşik ve genişletilmiş belirsizlik üzerine baskın bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi ölçme sınırlarının düşük olmasıdır. Cihazın çözünürlüğünün düşük olması dolayısıyla tekrarlanabilirlikteki ufak farklılıklar dahi belirsizlik bütçesinde baskın rol oynamaktadır.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır. Ancak ölçme sonuçları incelendiği takdirde 10 mm'den düşük değerlerde cihazın -0.01 mm hata verdiği görülmektedir. Bunun sebebinin operatörün cihazı düzgün sıfırlayamamış olması aşikardır. Bu sebeple ikinci iterasyonla bu belirsizliği daha düşük değerlere çekebilmemiz muhtemeldir.

6. İkinci iterasyon

Sıfırlama işlemi daha dikkatlice yapıldıktan sonra ölçme işlemi tekrar yapıldığında cihazın tüm masterlar için doğru sonuçları verdiği görülmüştür. Dolayısıyla 0.01 ± 0.0062 mm olan ölçüm hatası ± 0.0062 mm haline gelmiştir.

12.2.2 0.02 mm'lik Analog Kumpasın Başlangıç Hatasının Bulunması

Cihazın başlangıç hatasının bulunabilmesi için kalibrasyon laboratuvarında 0-25 mm ölçüm aralığında 10 adet farklı boyutta masterla, master ve cihazın sıcaklıklarının kontrol edilerek yapılan ölçüm işlemi sonuçları Çizelge 12.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 12.4 0.02 mm'lik analog kumpasla yapılan ölçme sonuçları

Master Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Masterın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
2.5	26	23	2.5
5	24	24	5
7.5	24	26	7.5
10	23	24	10
12.5	24	23	12.5
15	23	22	15
17.5	23	24	17.5
20	23	23	20
22.5	23	22	22.5
25	24	23	25

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 0-25 mm çalışma aralığında cihazın hata miktarını ölçmek.

Hedef Belirsizlik 15 μ m

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Kalibrasyon 0-25 mm arası 10 farklı boyutta Johnson Mastarı kullanılarak alınan sonuçlarla yapılmıştır

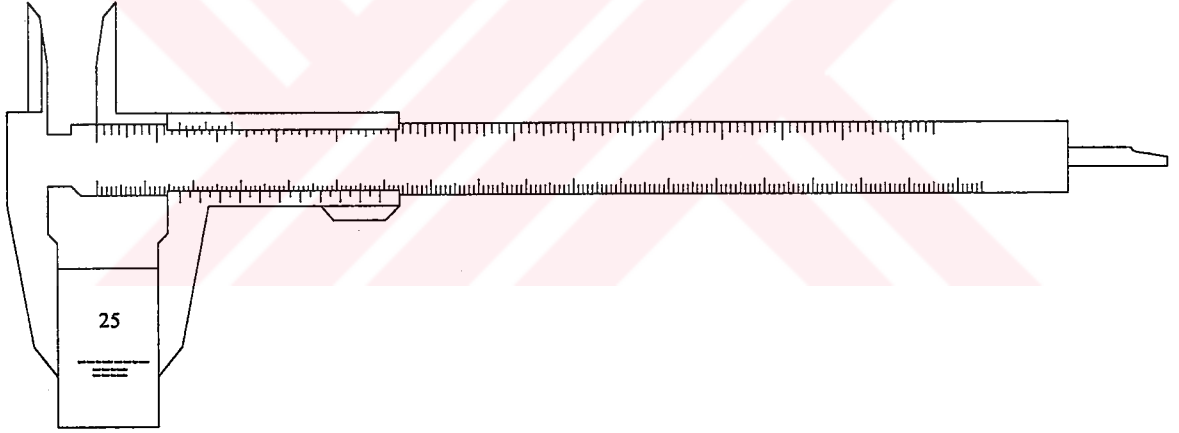
Başlangıç Prosedürü

- Uzunluk değeri bilinen master kumpasla ölçülür
- Ölçme işlemi parça sıkıştırılmış haldeyken yapılır
- Her bir blok için hata değeri aşağıdaki gibi hesaplanır
Hata = Kumpastan alınan sonuç – Nominal değer

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli
- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Bir saat içindeki odanın sıcaklık değişimi $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.3 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.5 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{SL}		Mastar Boyutu	Mastarın boyutlarının kararsızlığıdır.
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	0.02 mm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla mastar arası maksimum sıcaklık değişimi 3 °C'dir
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 4 °C 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{SL} Mastar Boyutu

Kullanılan Johnson Mastarının tolerans sınırları mertebesinde ISO 3650'den maksimum değer alınmıştır. $a_{SL}=0.6 \mu\text{m}$ 'dir. Standarttan alınan sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$u_{SL} = 0.6 \times b = 0.6 \times 0.6 = 0.36 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 25 mm'lik mastar üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Cihazın düşük çözünürlüğü ve operatörün tecrübesiyle tüm ölçümlerde aynı sonuç alınmıştır dolayısıyla u_{RR} değeri çözünürlükten hesaplandı.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan 0.02 mm'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{0.02}{2\sqrt{3}} = 5.7 \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan $5.7 \mu\text{m}$ olarak kabul edilir.

B Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında mastar ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 3°C olmuştur. Mastar ve kumpas çelikten yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı α , $1.1 \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 3^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.825 \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TD} = 0.825 \times 0.7 = 0.5775 \quad 0.58 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma $\pm 4^\circ\text{C}$ 'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Mastar ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınırsa:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 4^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.1375 \quad 0.11 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TA} = 0.14 \times 0.7 = 0.077 \quad 0.1 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = \sqrt{0.36^2 + 5.7^2 + 0.58^2 + 0.1^2} = 5.7116516 \quad 5.7 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 5.7 = 2 \times 5.7 = 11.4 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.6 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltilme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Mastar Boyutu	B	Dörtgen		0.6 μm	0.6 μm	0	0.6	0.36
Çözünürlük	B	Dörtgen		9.5 μm	9.5 μm	0	0.6	5.7
Sıcaklık Farkı	B	U		3 °C	0.83 μm	0	0.7	0.58
Sıcaklık	B	U		4 °C	0.11 μm	0	0.7	0.1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								5.7
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								11.4

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

Görüldüğü gibi en baskın belirsizlik bileşeni cihazın çözünürlüğüdür. Bununla beraber cihazın belirsizliği hedef belirsizliğin altında kalmıştır. Görüldüğü üzere ortam sıcaklığının birleşik ve genişletilmiş belirsizlik üzerine baskın bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi ölçme sınırlarının düşük olmasıdır.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır.

Sonuç olarak 0.02 mm'lik kumpasın ölçüm hatası 0.014 mm'dir.

İkinci iterasyona gereksinim duyulmamaktadır.

12.2.3 Dijital Mikrometrenin Başlangıç Hatasının Saptanması

1 mikron çözünürlüğe sahip dijital mikrometre özellikle ufak yanma odası mastarlarının kontrolünde kullanılmaktadır. 0-25 mm arası farklı değerlerde 10 mastardan alınan ölçüm sonuçları Çizelge 12.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 12.7 1µm'lik dijital mikrometre ile yapılan ölçme sonuçları

Mastar Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Mastarın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
2.5	23	23	2.501
5	22	23	5.001
7.5	22	23	7.501
10	21	23	10.001
12.5	23	23	12.5
15	23	24	15.001
17.5	23	23	17.501
20	24	24	20
22.5	24	24	22.501
25	25	23	25

Cihazın tekrarlanabilirliğinin saptanabilmesi için 25mm'lik Johnson mastarının şartlar mümkün mertebe aynı tutularak 10 adet ölçümü alınmıştır. Sonuçlar, 25.01, 25, 25, 25, 25, 25, 25.01, 25, 25, 25 olarak saptanmıştır ve sonuçların standart sapması 0,422 µm yani yaklaşık 0.4 µm'dir.

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 0-25 mm çalışma aralığında cihazın hata miktarını ölçmek.

Hedef Belirsizlik 2 µm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Kalibrasyon 0-25 mm arası 10 farklı boyutta Johnson Mastarı kullanılarak alınan sonuçlarla yapılmıştır

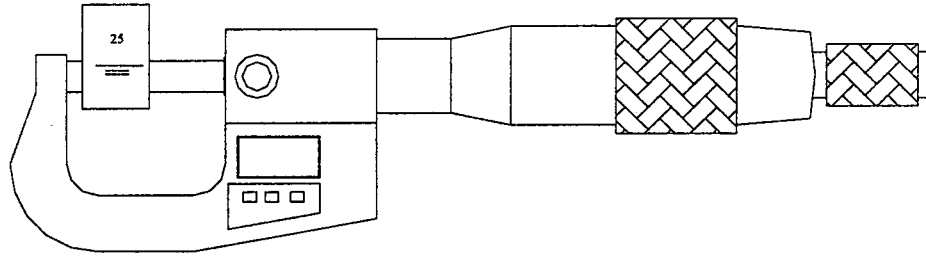
Başlangıç Prosedürü

- Uzunluk değeri bilinen mastar mikrometreyle ölçülür
- Ölçme işlemi parça sıkıştırılmış halde yapılır
- Parça sıkıştırılırken yalnızca küçük tambur kullanılır
- Her bir blok için hata değeri aşağıdaki gibi hesaplanır
Hata = Kumpastan alınan sonuç – Nominal değer

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli
- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Odanın bir saat içindeki sıcaklık değişimi $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.4 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.8 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{SL}		Mastar Boyutu	Mastarın boyutlarının kararsızlığıdır.
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	$1\text{ }\mu\text{m}$ için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla mastar arası maksimum sıcaklık değişimi $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
u_{TA}		Sıcaklık	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$ standarttan maksimum sapma $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{SL} Master Boyutu

Kullanılan Johansen Masterının tolerans sınırları mertebesinde ISO 3650'den maksimum değer alınmıştır. $a_{SL}=0.6 \mu\text{m}$ 'dir. Standarttan alınan sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$u_{SL} = 0.6 \times b = 0.6 \times 0.6 = 0.36 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 25 mm'lik master üzerinden 10 kez ölçüm alınmıştır. Sonucun standart sapması yaklaşık olarak $0.4 \mu\text{m}$ 'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan $1 \mu\text{m}$ 'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{1 \mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.2886751 \cong 0.29 \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan $0.4 \mu\text{m}$ olarak kabul edilir.

A Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında master ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 2°C olmuştur. Master ve mikrometre çelikten yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı α , $1.1 \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 2^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.55 \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TD} = 0.55 \times 0.7 = 0.385 \quad 0.39 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma ± 4 °C'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Master ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınırsa:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 4^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 25 \text{ mm} = 0.1375 \quad 0.11 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TA} = 0.14 \times 0.7 = 0.077 \quad 0.1 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = \sqrt{0.36^2 + 0.4^2 + 0.39^2 + 0.1^2} = 0.6720863 \quad 0.7 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 0.7 = 2 \times 0.7 = 1.4 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.9 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Master Boyutu	B	Dörtgen		0.6 μm	0.6 μm	0	0.6	0.36
Tekrarlanabilirlik	A		10			0		0.4
Sıcaklık Farkı	B	U		2 °C	0.55 μm	0	0.7	0.39
Sıcaklık	B	U		4 °C	0.11 μm	0	0.7	0.1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								0.7
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								1.4

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

En baskın belirsizlik bileşeni cihazın tekrarlanabilirliğidir. Bununla beraber bileşenler arasında fazla farklılık olmayıp hepsi dengelidir. Cihazın belirsizliği hedef belirsizliğin altında kalmıştır. Görüldüğü üzere ortam sıcaklığının birleşik ve genişletilmiş belirsizlik üzerine baskın bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun sebebi ölçme sınırlarının düşük olmasıdır.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır.

Sonuç olarak 1 μm 'lik kumpasın ölçüm hatası $1 \pm 1.4 \mu\text{m}$ 'dir.

İkinci iterasyona gereksinim duyulmamaktadır.

12.2.4 Komparatörlü Mikrometrenin Başlangıç Hatasının Bulunması

Komparatörlü mikrometre yanma odası masterlarının kontrol edildiği temel araçlardan birisidir. Yanma odası masterları senede bir defa kalibrasyon laboratuvarlarında kontrol edilirler. Nominal ölçülerinden 5 μm sapana kadar kullanımlarına devam edilir. Komparatör sayesinde masterın tüm çevresinin toleranslardan sapma miktarı kontrol edilebilmektedir.

Mikrometreyle cihazın en yaygın çalışma aralığı olan 25-50 mm arasında 10 adet farklı boyutta masterla cihaz ve master sıcaklıkları kontrol edilmek suretiyle ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 12.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 12.10 1 μm 'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları

Master Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Masterın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
25	23	23	25.000
27.5	23	23	27.001
30	24	24	30.000
32.5	23	22	32.501
35	24	22	35.500
37.5	24	23	37.001
40	24	21	40.000
42.5	23	23	42.500
45	22	23	45.000
47.5	23	22	47.500

Tekrarlanabilirlik değerinin saptanabilmesi için 40mm'lik masterla yapılan 15 ölçümde sonuçlardan biri 40.001mm diğerleri 40 mm çıkmıştır ve sonuçların standart sapması yaklaşık

olarak 0.26 μm 'dir.

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 25-50 mm çalışma aralığında cihazın hata miktarını ölçmek.

Hedef Belirsizlik 4 μm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Kalibrasyon 25-50 mm arası 10 farklı boyutta Johnson Mastarı kullanılarak alınan sonuçlarla yapılmıştır

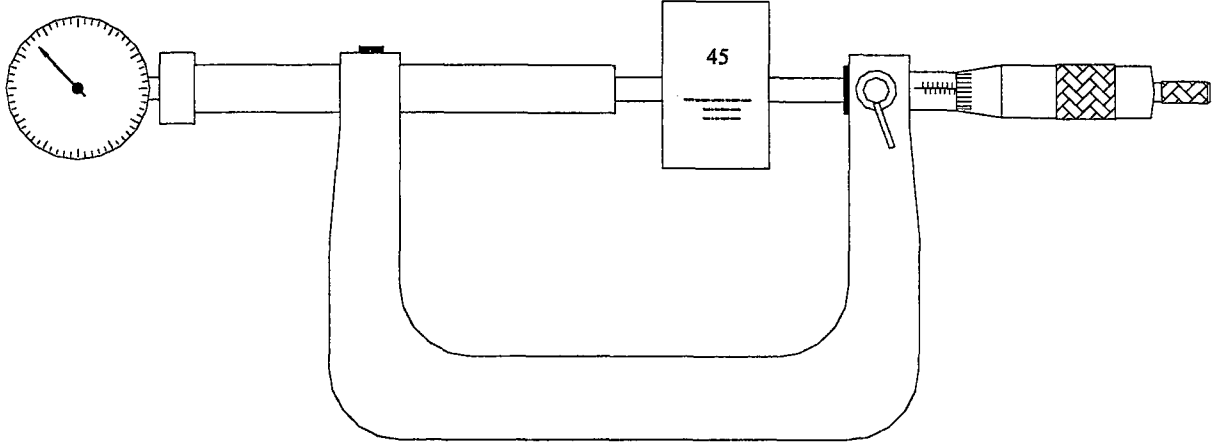
Başlangıç Prosedürü

- Cihaz 0 -75 mm ölçme aralığında çalışmaktadır ancak mastar boyutları büyük oranda 25-50 mm arası olduğundan bu ayara getirilmiştir.
- Mikrometre uzunluğu bilinen mastar boyutlarına ayarlanır
- Ölçme işlemi parça cihaza sıkıştırılmış ve kilitlenmiş halde yapılır
- Parça sıkıştırılırken yalnızca küçük tambur kullanılır
- Fark değeri cihazın komperatöründen okunur
- Mikrometrenin komperatör tutucusu hareketli olduğundan mastarın hareket etmesine imkan vardır. Böylece mastarın tüm uzunluğu boyunca ölçüm işlemi gerçekleştirilir.
- Her mastar için tek bir maksimum fark değeri okunur

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli
- Cihazı iki farklı operatör dönüşümlü olarak kullanmakta
- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mikrometrenin şaftları ve mastar arasındaki maksimum sıcaklık farkı $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
- Bir saat içindeki odanın sıcaklık değişimi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.5 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.11 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{SL}		Mastar Boyutu	Mastarın boyutlarının kararsızlığıdır.
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	1 μm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla mastar arası maksimum sıcaklık değişimi 3 °C'dir
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 4 °C 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{SL} Mastar Boyutu

Kullanılan Johnson Mastarının tolerans sınırları mastarın kalibrasyon sertifikasından $a_{SL}=0.03$

μm alınmıştır. Sertifikadan alınan sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$u_{SL} = 0.6 \times b = 0.6 \times 0.03 = 0.018 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 40 mm'lik mastar üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Sonucun standart sapması yaklaşık olarak 0.26 μm 'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan 1 μm 'e göre formül (7.8) uygulanırsa:

$$u_{RE} = \frac{1\mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.2886751 \cong 0.29 \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan 0.29 μm olarak kabul edilir.

B Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında mastar ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 3°C olmuştur. Mastar ve mikrometre çelikten yapılmıştır ve ısıl genişleme katsayısı α , 1.1 $\mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 3^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 50 \text{ mm} = 1.65 \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TD} = 1.65 \times 0.7 = 1.155 \quad 1.2 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma $\pm 4^\circ\text{C}$ 'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Mastar ve kumpasın lineer genişmelerinde %10 fark alınırsa:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 4^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 50 \text{ mm} = 0.22 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TA} = 0.22 \times 0.7 = 0.154 \quad 0.15 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{SL}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = \sqrt{0.018^2 + 0.29^2 + 1.2^2 + 0.15^2} = 1.243754 \quad 1.2 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 1.2 = 2 \times 1.2 = 2.4 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.12 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Mastar Boyutu	B	Dörtgen		0.03 μm	0.03 μm	0	0.6	0.018
Çözünürlük	A	Dörtgen		0.48 μm	0.48 μm	0	0.6	0.29
Sıcaklık Farkı	B	U		3 °C	1.65 μm	0	0.7	1.2
Sıcaklık	B	U		4 °C	0.22 μm	0	0.7	0.15
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								1.2
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								2.4

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

En baskın belirsizlik bileşeni sıcaklık farklarıdır. Bununla beraber bileşenler arasında fazla farklılık olmayıp hepsi dengelidir. Cihazın belirsizliği hedef belirsizliğin altında kalmıştır. Cihazın ve mastarın sıcaklıklarının eşitlenmesi için ölçme süresi bir miktar uzatılabilir.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır.

Sonuç olarak 1 μm 'lik kumpasın ölçüm hatası $1 \pm 2.4 \mu\text{m}$ 'dir.

İkinci iterasyona gereksinim duyulmamaktadır.

12.2.5 Komparatörlü Mikrometre ile 33.91-34.09'lik Yanma Odası Mastarının Kontrolünün Belirsizliği

33.91-34.09 ölçülerindeki yanma odası mastarının cihaz ve mastar sıcaklıkları kontrol edilerek yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 12.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 12.13 1 μm 'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları

Nominal Mastar Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Mastarın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
33.91	23	22	33.909
34.09	23	23	34.091

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 33.91-34.09 mm'lik yanma odası mastarının komparatörlü mikrometreyle ölçme belirsizliğinin bulunması.

Hedef Belirsizlik 5 μm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi 25-50 mm ölçme aralığında mastarın nominal ölçüsünden farkının komparatörden okunması.

Başlangıç Prosedürü

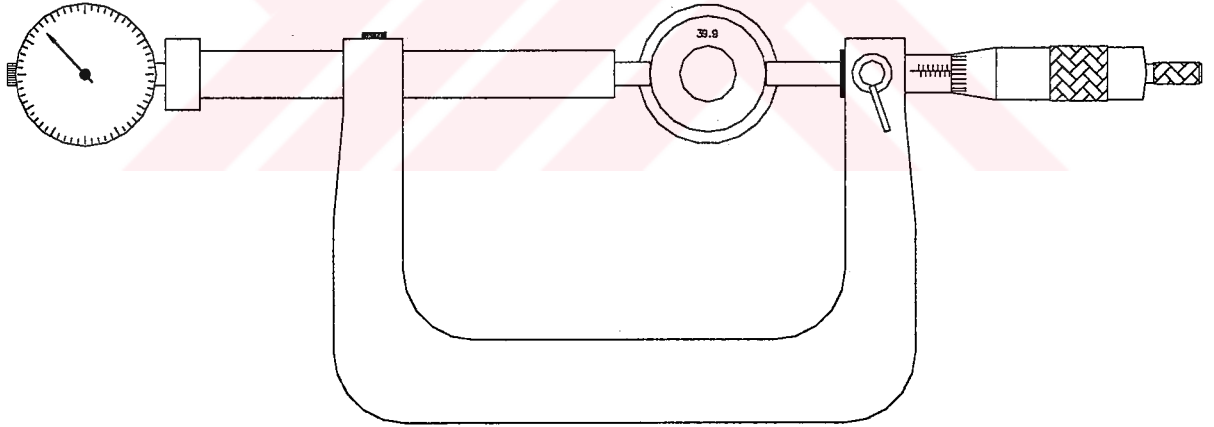
- Cihaz 25 - 50 mm ölçme aralığına ayarlanır.
- Mikrometre 33.91 mm uzunluğa göre ayarlanır ve kilitlenir.
- 33.91 mm'lik Johnson mastarı mikrometre çeneleri arasına yerleştirilir.

- Mastarın ölçüsüne göre komparatör sıfırlanır.
- Yanma odası mastarı iyice temizlenir ve mastar çeneleri arasına yerleştirilir.
- Mastar cihazın çeneleri arasında döndürülerek komparatör sürekli kontrol edilir.
- Her mastar için tek bir maksimum fark değeri saptanır.
- Cihaz mastarın diğer ölçüsü 34.09 mm'ye göre ayarlanır.
- 34.09 mm'lik Johnson Mastarıyla komparatör sıfırlanır
- Mastarın ikinci tarafı aynı şekilde kontrol edilir.

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli
- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mikrometrenin şaftları ve mastar arasındaki maksimum sıcaklık farkı $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
- Bir saat içindeki odanın sıcaklık değişimi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.6 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.14 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{ML}		Mikrometre başlangıç hatası	Kalibrasyon esnasında cihazın sıfırdan maksimum sapmasına eşit alınır.
u_{MF}		Mikrometrenin düzlemselliği	Mikrometre çenelerinin düzlemsellik sapmalarıdır.
u_{MP}		Mikrometrenin paralelliği	Mikrometre çenelerinin paralellikten sapmaları
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	1 μm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla master arası maksimum sıcaklık değişimi 1 °C'dir
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 4 °C 'dir
u_{WE}		İş parçası şekil sapmaları	Masterın silindiriklik toleransları

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{ML} Mikrometre Başlangıç Hatası

Mikrometrenin başlangıç hatası Johnson masterlarına göre 2.4 μm olarak hesaplanmıştır. Pratik olarak bu değer kalibrasyon esnasında cihazı sıfırlamak için yapılan düzeltmeye eşit kabul edilebilir. Mikrometre için bu değer 1 μm 'dir. 2.4 μm 'lik sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$a_{ML} = \frac{2.4\mu\text{m}}{2} = 1.2\mu\text{m}$$

$$u_{SL} = 0.6 \times b = 0.6 \times 1.2 = 0.72 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{MF} Mikrometrenin Çenelerinin Düzlemselliği

Cihazın çenelerinin düzlemselliği düzlem ve paralel etalonlarla kontrol edilir. Cihaz için

değer kalibrasyon sertifikasından $1\ \mu\text{m}$ alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplırsak:

$$u_{MF} = 0.5 \times 1\ \mu\text{m} = 0.5\ \mu\text{m}$$

Düzlemsellik iki çene için iki ayrı etki yapacaktır.

B Tipi Değerlendirme

u_{MP} Mikrometrenin Paralelliği

Cihaz çenelerinin paralelliği de düzlem ve paralel etalonlarla kontrol edilirler. Paralellik toleransı cihazın kalibrasyon sertifikasından $2\ \mu\text{m}$ alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplırsa:

$$u_{MP} = 0.5 \times 2\ \mu\text{m} = 1\ \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için $40\ \text{mm}$ 'lik mastar üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Sonucun standart sapması yaklaşık olarak $0.26\ \mu\text{m}$ 'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan $1\ \mu\text{m}$ 'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{1\ \mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.2886751 \cong 0.29\ \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan $0.29\ \mu\text{m}$ olarak kabul edilir.

B Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında mastar ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 1°C olmuştur. Mastar ve mikrometre çelikten yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı α , $1.1\ \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 1^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 34.09\ \text{mm} = 0.37499\ \mu\text{m} \quad 0.38\ \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre (b=0.7)

$$u_{TD} = 0.38 \times 0.7 = 0.266 \quad 0.27 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma ± 4 °C'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Mastar ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınır:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 4^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 34.09 \text{ mm} = 0.1499 \quad 0.15 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre (b=0.7)

$$u_{TA} = 0.15 \times 0.7 = 0.105 \quad 0.11 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{WE} Mastarın Şekil Sapmaları

Mastarın silindiriklik formundan sapması $1 \mu\text{m}$ kabul edilmiştir. Bunun etkisi ise dairesel form sebebiyle $2 \mu\text{m}$ olacaktır. Normal dağılıma göre sınır değerden belirsizlik bileşeni hesaplanırsa:

$$u_{WE} = 0.5 \times 2 \mu\text{m} = 1 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MF}^2 + u_{MF}^2 + u_{MP}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{WE}^2}$$

$$= \sqrt{0.72^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 1^2 + 0.29^2 + 0.27^2 + 0.11^2 + 1^2} = 1.7853571 \quad 1.8 \mu\text{m}$$

k=2 güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 1.8 = 2 \times 1.8 = 3.6 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.15 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltilme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Başlangıç Hatası	B	Dörtgen		1.2 μm	1.2 μm	0	0.6	0.72
Mikrometrenin Düzlemselliği (1)	B	U		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Düzlemselliği (2)	B	U		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Paralelliği	B	U		2 μm	2 μm	0	0.5	1
Çözünürlük	A	Dörtgen		0.48 μm	0.48 μm	0	0.6	0.29
Sıcaklık Farkı	B	U		1 $^{\circ}\text{C}$	0.38 μm	0	0.7	0.27
Sıcaklık	B	U		4 $^{\circ}\text{C}$	0.15 μm	0	0.7	0.11
Mastarın Şekil Sapmaları	B	U		1	2	0	0.5	1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_c)								1.8
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								3.6

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

En baskın belirsizlik bileşeni cihazın tutma çenelerinin paralelliği ve mastarın şekil sapmalarıdır. Cihazın temel özelliklerini ve iş parçası formlarını etkileyemeyeceğimiz için bu etkenlerde fazla bir değişiklik yapılamaz.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır.

İkinci iterasyona gereksinim duyulmamaktadır.

Mastarları nominal değerlerinden 5 mikron sapana kadar kullanılabilirler. Bu ölçüm sonuçları ve belirsizlik bölgeleri için mastarın kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır.

12.2.6 Komparatörlü Mikrometre ile 39.9-40.1'lik Yanma Odası Mastarının Kontrolünün Belirsizliği

39.9-40.1 ölçülerindeki yanma odası mastarının cihaz ve mastar sıcaklıkları kontrol edilerek

yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 12.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 12.16 1µm'lik mikrometreyle yapılan ölçme sonuçları

Nominal Master Boyutu (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Masterın Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
39.9	25	23	39.897
40.1	22	23	40.101

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 39.9-40.1 mm'lik yanma odası masterının komparatörlü mikrometreyle ölçme belirsizliğinin bulunması.

Hedef Belirsizlik 5 µm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi 25-50 mm ölçme aralığında masterın nominal ölçüsünden farkının komparatörden okunması

Başlangıç Prosedürü

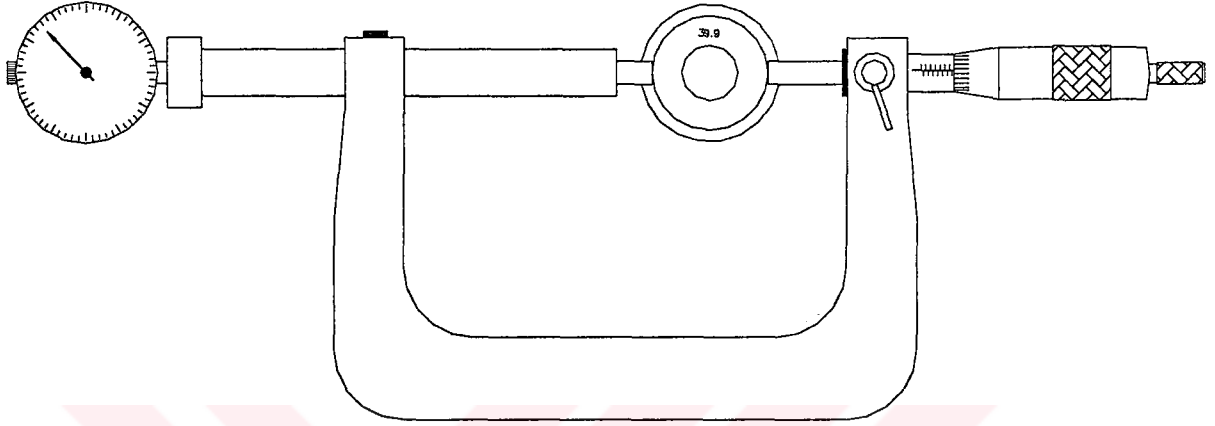
- Cihaz 25 - 50 mm ölçme aralığına ayarlanır.
- Mikrometre 39.9 mm uzunluğa göre ayarlanır ve kilitlenir.
- 39.9 mm'lik Johnson masterı mikrometre çeneleri arasına yerleştirilir.
- Masterın ölçüsüne göre komparatör sıfırlanır.
- Yanma odası masterı iyice temizlenir ve master çeneleri arasına yerleştirilir.
- Master cihazın çeneleri arasında döndürülerek komparatör sürekli kontrol edilir.
- Her master için tek bir maksimum fark değeri saptanır.
- Cihaz masterın diğer ölçüsü 40.1 mm'ye göre ayarlanır.
- 40.1 mm'lik Johnson Masterıyla komparatör sıfırlanır
- Masterın ikinci tarafı aynı şekilde kontrol edilir.

Başlangıç Ölçme Şartları

- Kalibrasyon personeli deneyimli

- Ortam sıcaklığı kontrol ediliyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mikrometrenin şaftları ve master arasındaki maksimum sıcaklık farkı $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
- Bir saat içindeki odanın sıcaklık değişimi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.7 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.17 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{ML}		Mikrometre başlangıç hatası	Kalibrasyon esnasında cihazın sıfırdan maksimum sapmasına eşit alınır.
u_{MF}		Mikrometrenin düzlemselliği	Mikrometre çenelerinin düzlemsellik sapmalarıdır.
u_{MP}		Mikrometrenin paralelliği	Mikrometre çenelerinin paralellikten sapmaları
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	$1\text{ }\mu\text{m}$ için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla master arası maksimum sıcaklık değişimi $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
u_{TA}		Sıcaklık	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$ standarttan maksimum sapma $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir
u_{WE}		İş parçası şekil sapmaları	Masterın silindiriklik toleransları

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{ML} Mikrometre Başlangıç Hatası

Mikrometrenin başlangıç hatası Johanson masterlarına göre 2.4 µm olarak hesaplanmıştır. Pratik olarak bu değer kalibrasyon esnasında cihazı sıfırlamak için yapılan düzeltmeye eşit kabul edilebilir. Mikrometre için bu değer 2 µm'dir. 2.4 µm'lik sonuç için dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$a_{ML} = \frac{2.4\mu\text{m}}{2} = 1.2\mu\text{m}$$

$$u_{SL} = 0.6 \times 1.2 = 0.72 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{MF} Mikrometrenin Çenelerinin Düzlemselliği

Cihaz için değer kalibrasyon sertifikasından 1 µm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplırsak:

$$u_{MF} = 0.5 \times 1\mu\text{m} = 0.5 \mu\text{m}$$

Düzlemsellik iki çene için iki ayrı etki yapacaktır.

B Tipi Değerlendirme

u_{MP} Mikrometrenin Paralelliği

Paralellik toleransı cihazın kalibrasyon sertifikasından 2 µm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplırsak:

$$u_{MP} = 0.5 \times 2\mu\text{m} = 1 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 40 mm'lik master üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Sonucun standart sapması yaklaşık olarak 0.26 µm'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan 1 µm'e göre formülde (7.8) yerine

koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{1\mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.2886751 \cong 0.29 \mu\text{m}$$

u_{RR} değeri daha büyük olan $0.29 \mu\text{m}$ olarak kabul edilir.

B Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında mastar ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 2°C olmuştur. Mastar ve mikrometre çelikten yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı α , $1.1 \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 2^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 40.1 \text{ mm} = 0.8822 \mu\text{m} \quad 0.9 \mu\text{m}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TD} = 0.9 \times 0.7 = 0.63 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma $\pm 5^\circ\text{C}$ 'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Mastar ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınır:

$$a_{TA} = 0.1 \times \Delta T \times \alpha \times D = 0.1 \times 4^\circ\text{C} \times 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} \times 40.1 \text{ mm} = 0.22055 \quad 0.22 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TA} = 0.22 \times 0.7 = 0.154 \quad 0.15 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{WE} Mastarın Şekil Sapmaları

Mastarın silindiriklik formundan sapması $1 \mu\text{m}$ kabul edilmiştir. Bunun etkisi ise dairesel form sebebiyle $2 \mu\text{m}$ olacaktır. Normal dağılıma göre sınır değerden belirsizlik bileşeni hesaplanırsa:

$$u_{WE} = 0.5 \times 2 \mu\text{m} = 1 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MF}^2 + u_{MF}^2 + u_{MP}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{WE}^2}$$

$$= \sqrt{0.72^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 1^2 + 0.29^2 + 0.63^2 + 0.15^2 + 1^2} = 1.8766725 \quad 1.9 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 1.9 = 2 \times 1.9 = 3.8 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.18 Belirsizlik bütçesi özeti

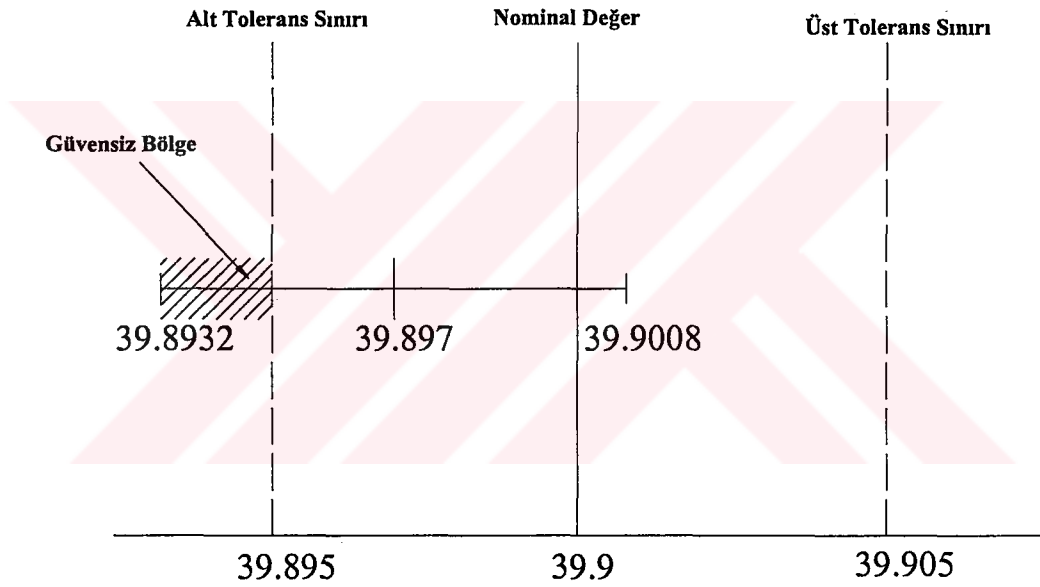
Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Başlangıç Hatası	B	Dörtgen		1.2 μm	1.2 μm	0	0.6	0.72
Mikrometrenin Düzlemselliği (1)	B	Normal		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Düzlemselliği (2)	B	Normal		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Paralelliği	B	Normal		2 μm	2 μm	0	0.5	1
Çözünürlük	B	Dörtgen		0.48 μm	0.48 μm	0	0.6	0.29
Sıcaklık Farkı	B	U		2 $^{\circ}\text{C}$	0.9 μm	0	0.7	0.63
Sıcaklık	B	U		5 $^{\circ}\text{C}$	0.22 μm	0	0.7	0.15
Mastarın Şekil Sapmaları	B	Normal		1	2	0	0.5	1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_c)								1.9
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								3.8

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

En baskın belirsizlik bileşenleri cihazın tutma çenelerinin paralelliği ve mastarın şekil sapmalarıdır. Cihazın temel özelliklerini ve iş parçası formlarını etkileyemeyeceğimiz için bu etkenlerde fazla bir değişiklik yapılamaz.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır. Çizelge 12.16'da mastar için alınan ölçüm sonuçlarına bir değerlendirme yaparsak mastarın 39.9 mm çaplı kısmında nominal değerlerden sapma $3 \pm 3.8 \mu\text{m}$ ve 40.1 mm çaplı kısmı için sapma $1 \pm 3.8 \mu\text{m}$ 'dir. Şekil 12.8'de mastar için izin verilebilen maksimum sapma değeri, ölçüm sonucu ve belirsizlik bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 12.8 Tolerans ve belirsizlik bölgelerinin kesişimi

Görüldüğü üzere komparatörle yapılan ölçme sonuçları mastar toleransları bölgesinde gözükse de belirsizlik bölgesiyle birlikte kontrol edildiğinde mastar çapı izin verilebilen sapma değerleri dışında, güvensiz bölgededir. Çizelge 12.19'da belirsizlik etkenleri kaynaklarına göre sınıflandırılmış ve toplam belirsizliğe etkileri saptanmıştır. Cihazla ilgili belirsizlik etkenlerinde bir değişiklik yapamayacağımız açıktır. Mastarın şekil toleransları ise tekrar bizim etkimiz dışındaki bir faktördür. Bu durumda yapabileceğimiz tek şey ortam sıcaklığında daha hassas bir kontroldür.

Çizelge 12.19 Belirsizlik bütçesinde baskın bileşenlerin saptanması

Bileşen Adı	Belirsizlik Kaynağı	Belirsizlik Bileşeni	u_{XX}^2	u_C 'deki Yüzdesi	u_C 'deki Yüzdesi	Belirsizlik Kaynağı
Başlangıç Hatası	Ölçme Cihazı	0.72 μm	0.5184 μm^2	% 14.72	% 59.71	Ölçme Cihazı
Mikrometrenin Düzlemselliği (1)		0.5 μm	0.25 μm^2	% 7.1		
Mikrometrenin Düzlemselliği (2)		0.5 μm	0.25 μm^2	% 7.1		
Mikrometrenin Paralelliği		1 μm	1 μm^2	% 28.4		
Çözünürlük		0.29 μm	0.0841 μm^2	% 2.39		
Sıcaklık Farkı	Çevresel Etkiler	0.63 μm	0.3969 μm^2	% 11.27	% 11.89	Çevresel Etkiler
Sıcaklık		0.15 μm	0.0225 μm^2	% 0.62		
Mastarın Şekil Sapmaları	İş Parçası Etkileri	1 μm	1 μm^2	% 28.4	% 28.4	İş Parçası Etkileri
Birleşik Standart Belirsizlik		4.79 μm	3.5219 μm^2	% 100	% 100	TOPLAM

Ortam sıcaklığı etkeni görüldüğü üzere baskın bir etki değildir ve tamamen elimine edildiği varsayılsa dahi belirsizlik bölgesi toleranslar dışına çıkmaktadır. Dolayısıyla bu şartlar altında bu mastarla ölçüm yapılmaya devam edilmesi zincirleme hatalara yol açacaktır. Master işaretlenerek kullanım dışı bırakılmalıdır.

12.2.7 Pistonun Kaba Delik Kontrolünün Belirsizliği

Piston üzerinde biyel kolunun bağlanması için açılan iki delik imalat prosesinde kontrol edilmektedir. Piston için kaba delik nominal çapı 27 mm ve tolerans + 0.1, - 0.2 mm'dir. Parça imalat hatlarında prosten hemen sonra 0.01 mm'lik dijital kumpasla ölçülmektedir. Cihazın ve parçanın sıcaklıkları kontrol edilmiştir ancak ortam sıcaklığı üzerinde herhangi bir kontrol söz konusu değildir. Bu şartlar altında yapılan ölçme işleminin sonuçları Çizelge 12.19'da gösterilmektedir. Çap kumpasla iki farklı noktadan ölçülerek şekilsel sapmaların etkileri azaltılmak istenmiştir.

Çizelge 12.20 0.01 mm'lik kumpasla kaba delik çapı ölçme sonuçları

Nominal Çap Değeri (mm)	Cihazın Sıcaklığı (°C)	Piston Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Sonucu (mm)
27	26	25	26.99
27	26	25	26.99

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi 0.01 mm'lik dijital kumpasla yapılan piston kaba delik çapı kontrolünün belirsizliğinin bulunması.

Hedef Belirsizlik 0.01 mm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Uzunluk ölçülmesi – bilinen uzunluk değeriyle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Dijital kumpasla çap değerinin iki farklı noktadan okunması ve nominal değerle karşılaştırılması.

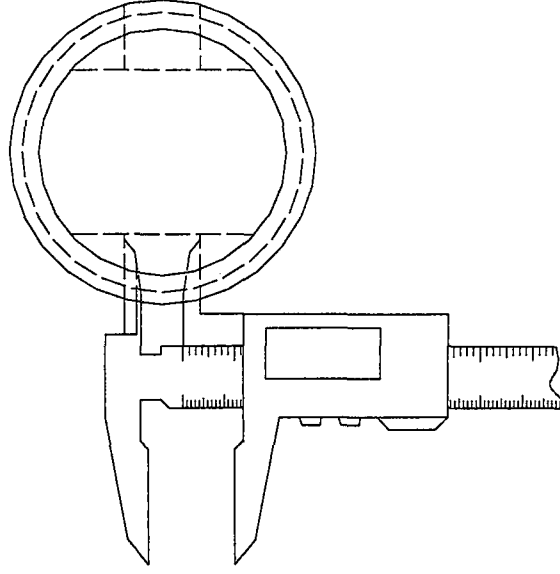
Başlangıç Prosedürü

- Piston tezgahtan alındıktan sonra bir süre soğuması beklenir.
- Delik bir bezle kabaca temizlenir.
- Ölçme işlemi kumpas delikten ayrılmadan okunur.
- Delik çapı okunduktan sonra farklı iki noktadan tekrar ölçü alınır.

Başlangıç Ölçme Şartları

- Ortam sıcaklığı kontrol edilmiyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$
- Kumpas ve piston arasındaki maksimum sıcaklık farkı 1 °C 'dir
- Bir saat içindeki odanın sıcaklık değişimi 3 °C 'den az

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.9 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.21 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{ML}		Kumpas başlangıç hatası	Kalibrasyon esnasında cihazın sıfırdan maksimum sapmasına eşit alınır.
u_{MF}		Kumpasın düzlemselliği	Kumpas çenelerinin düzlemsellik sapmalarıdır.
u_{MP}		Kumpasın paralelliği	Kumpas çenelerinin paralellikten sapmaları
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	0.01 mm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TD}		Sıcaklık Değişimi	Kumpasla master arası maksimum sıcaklık değişimi 1 °C'dir
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 8 °C'dir
u_{WE}		İş parçası şekil sapmaları	Delğin silindiriklik toleransları

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{ML} Kumpasın Başlangıç Hatası

Kumpasın başlangıç hatası Johnson masterlarına göre 6.2 µm olarak hesaplanmıştır. Dikdörtgen dağılım olması mümkündür.

$$a_{ML} = \frac{6.2 \mu m}{2} = 3.1 \mu m$$

$$u_{SL} = 0.6 \times 3.1 = 1.86 \mu m$$

B Tipi Değerlendirme

u_{MF} Kumpas Çenelerinin Düzlemselliği

Cihaz için değer kalibrasyon sertifikasından 1 µm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplırsak:

$$u_{MF} = 0.5 \times 1 \mu m = 0.5 \mu m$$

Düzlemsellik iki çene için iki ayrı etki yapacaktır.

B Tipi Değerlendirme

u_{MP} Kumpasın Paralelliği

Paralellik toleransı cihazın kalibrasyon sertifikasından 2 µm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplırsa:

$$u_{MP} = 0.5 \times 2 \mu m = 1 \mu m$$

B Tipi Değerlendirme

u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için 25 mm'lik master üzerinden 15 kez ölçüm alınmıştır. Sonuçların standart sapması 3 µm'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değeri olan 0.01 mm'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 2.8 \mu m$$

u_{RR} değeri daha büyük olan $3\mu\text{m}$ olarak kabul edilir.

A Tipi Değerlendirme

u_{TD} Sıcaklık Değişimi

Ölçüm işlemleri esnasında master ve kumpas arasında maksimum sıcaklık farkı 1°C olmuştur. Kumpas çelikten, piston ise alüminyum alaşımından yapılmıştır ve ısıl genleşme katsayısı kumpas için α_K , $1.1 \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ ve piston için α_P , $2.3 \mu\text{m}/(100\text{mm} \times ^\circ\text{C})$ 'dir.

$$\begin{aligned} a_{TD} &= (\Delta T x \alpha_P x D) - (\Delta T x \alpha_K x D) \\ &= (5^\circ\text{C} x 2.3 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} x 26.99\text{mm}) - (6^\circ\text{C} x 1.1 \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} x 26.99\text{mm}) \\ &= 3.10385 - 1.78134 = 1.32251 \quad 1.3 \mu\text{m} \end{aligned}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TD} = 1.3 \times 0.7 = 0.91 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma $\pm 5^\circ\text{C}$ 'dir. Dağılımın türü hakkında bir veri yoktur. Piston ve kumpasın lineer genleşmelerinde %10 fark alınırsa:

$$\begin{aligned} a_{TA} &= 0.1 x \Delta T x (\alpha_P - \alpha_K) x D = 0.1 x 8^\circ\text{C} x (2.3 - 1.1) \frac{\mu\text{m}}{100\text{mm} \times ^\circ\text{C}} x 26.99 \text{ mm} \\ &= 0.259104 \quad 0.26 \mu\text{m}'\text{dir.} \end{aligned}$$

U tipi dağılıma göre ($b=0.7$)

$$u_{TA} = 0.26 \times 0.7 = 0.182 \quad 0.18 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{WE} Pistonun Şekil Sapmaları

Masterın silindiriklik formundan sapması $1 \mu\text{m}$ kabul edilmiştir. Bunun etkisi ise dairesel form sebebiyle $2 \mu\text{m}$ olacaktır. Normal dağılıma göre sınır değerden belirsizlik bileşeni hesaplanırsa:

$$u_{WE} = 0.5 \times 2 \mu\text{m} = 1 \mu\text{m}'\text{dir.}$$

B Tipi Değerlendirme

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MF}^2 + u_{MF}^2 + u_{MP}^2 + u_{RR}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{WE}^2}$$

$$= \sqrt{1.86^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 1^2 + 3^2 + 0.91^2 + 0.18^2 + 1^2} = 3.977448 \quad 4 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = kx4 = 2x4 = 8 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.22 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Başlangıç Hatası	B	Dörtgen		3.1 μm	3.1 μm	0	0.6	1.86
Mikrometrenin Düzlemselliği (1)	B	Normal		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Düzlemselliği (2)	B	Normal		1 μm	1 μm	0	0.5	0.5
Mikrometrenin Paralellliği	B	Normal		2 μm	2 μm	0	0.5	1
Tekrarlanabilirlik	A		15			0		3
Sıcaklık Farkı	B	U		1 °C	1.3 μm	0	0.7	0.91
Sıcaklık	B	U		8 °C	0.26 μm	0	0.7	0.18
Mastarın Şekil Sapmaları	B	Normal		1	2	0	0.5	1
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								4
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								8

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

En baskın belirsizlik bileşeni cihazın tekrarlanabilirliğidir. Cihazın düşük çözünürlüklü olması belirsizlik bölgesinin daraltılmasına engel olmaktadır. Cihazın temel özelliklerini ve iş parçası

formlarını etkileyemeyeceğimiz için bu etkenlerde fazla bir değişiklik yapılamaz.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır. Ortam sıcaklıkları kontrol edilemediği halde sıcaklık farklarının belirsizlik bütçesi üzerinde fazla bir etkisi olmamıştır. İkinci iterasyona gerek yoktur.

12.2.8 Pistonun Ra Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesinin Belirsizliği

Pistonların yüzey pürüzlülükleri imalattan sonra, proses kontrol bölümünde ölçülmektedir. Ra değeri silindirin içinde çalışacak piston için oldukça önemlidir ve geometrik mamul özellikleri toleranslarına uygun şekilde oluşturulması bir zorunluluktur. Yüzey ölçüm işlemlerinde belirsizlik etkenleri boyutsal ölçümlerdekilerden farklıdır. Boyutsal ölçümlerde baskın faktör olarak karşılaşılan sıcaklık burada fazla bir etki göstermemektedir.

Pistonun pürüzlülüğü 5 farklı noktadan alınarak ortalaması alınmaktadır. Buna göre ölçülen Ra değerleri Çizelge 12.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 12.23 Ra değerleri ölçme sonuçları

Nominal Değer (μm)	Piston Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçüm Sonucu (μm)
2.32	26	2.32
		2.32
		2.30
		2.32
		2.32

Cihazın kalibrasyonu için ölçme işleminden önce $Ra=0.88 \mu\text{m}$ 'lik sertifikalı kalibrasyon referansına göre kontrol yapılmış ve cihaz sıfırlanmıştır. Cihazın referansa göre yaptığı en büyük sapma $0.90 \mu\text{m}$ değeriyle $0.02 \mu\text{m}$ olmuştur.

Cihazın tekrarlanabilirliğinin saptanabilmesi için bir piston için tüm ölçüm şartları sabit tutulmak suretiyle 10 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları 2.32, 2.32, 2.32, 2.33, 2.32, 2.32, 2.32, 2.32, 2.33 ve sonuçların standart sapması $0.0042 \mu\text{m}$ 'dir.

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi Pistonun Ra yüzey pürüzlülüğü ölçümünün belirsizliğinin bulunması.

Hedef Belirsizlik 0.1 μm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Pürüzlülük ölçülmesi, bilinen değerle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Piezo elektrik proba yüzeyin taranarak ortalama pürüzlülük değerinin bulunması.

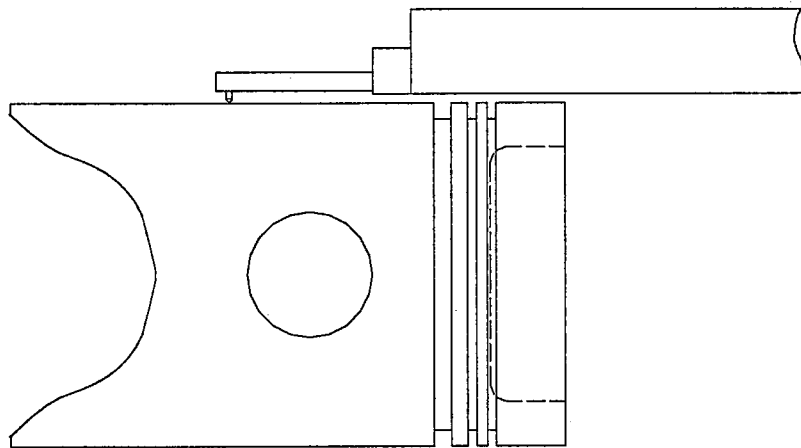
Başlangıç Prosedürü

- İşlemeden çıkmış pistonların yüzeyleri temizlenir.
- Piston X formlu fikstüre yerleştirilir.
- Ölçme probu piston yüzeyine temas ettirilir ve ölçüm yapılır.
- Piston fikstür üzerinde çevrilerek 4 farklı noktadan daha ölçü alınır.

Başlangıç Ölçme Şartları

- Ortam sıcaklığı kontrol edilmiyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Operatör cihazı kullanmada deneyimli.
- Cihazın yakınında çalışan optik projeksiyon cihazı elektromanyetik etkilere sebep olabilir.

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.10 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.24 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{ML}		Cihazın başlangıç hatası	Kalibrasyon esnasında cihazın sıfırdan maksimum sapmasına eşit alınır.
u_{MC}		Kalibrasyon Belirsizliği	Cihazın kalibrasyonunda referanstan kaynaklanan belirsizlik
u_{MF}		Ölçme kuvveti	Proben yüzeye uyguladığı kuvvetten kaynaklanan belirsizlik
u_{MS}		Yazılım hatası	Yazılımdan kaynaklanan belirsizlik
u_{MN}		Sistem gürültüsü	Elektriksel gürültüden kaynaklanan belirsizlik etkene
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	0.01 μm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 6 °C 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{ML} Cihazın Başlangıç Hatası

Cihazın başlangıç hatası olarak kalibrasyon esnasında cihazın referansın nominal değerinden yaptığı maksimum sapma, 0.02 μm alınır. Dikdörtgen dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplanırsa:

$$u_{SL} = 0.02 \times b = 0.02 \times 0.6 = 0.012 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{MC} Kalibrasyon Belirsizliği

Cihazın kalibrasyonunda referanstan kaynaklanan belirsizliktir. Referans elemanın sertifikasından İSO 5436-1'e göre Ra ve Rz için bu değer 0.03 µm olarak alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplırsak:

$$u_{MF} = 0.5 \times 0.03 \mu\text{m} = 0.015 \mu\text{m}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{MF} Ölçme kuvveti*

Ölçme probunun yüzeye uyguladığı kuvvetten kaynaklanan belirsizlik değeridir. Cihazın imalatçısından alınan değere göre 5 nm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplırsa:

$$u_{MP} = 0.5 \times 0.005 \mu\text{m} = 2.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{MS} Yazılım Belirsizliği*

Cihazın yazılımından kaynaklanan sapmalardır. Etkisi ihmal edilmiştir.

u_{MN} Sistem gürültüsü

Cihazın ve yanında çalışan optik projektörün yarattığı elektriksel gürültünün ölçüm sonucuna etkisi 5 nm olarak alınmıştır. U tipi dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplanacak olursa:

$$u_{MN} = 0.7 \times 0.005 \mu\text{m} = 3.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük*

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için piston üzerinde 10 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçların standart sapması 0.0042 µm'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değer olan 0.01 µm'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0028 \mu\text{m}$$

u_{RR} değerini daha büyük olan 0.0042 µm olarak kabul edilir.

A Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma ± 6 °C'dir. Ölçme boyutlarının oldukça küçük boyutlarda olması dolayısıyla sıcaklığın belirsizlik bütçesindeki etkileri ihmal edilmiştir.

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltilme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MC}^2 + u_{MF}^2 + u_{MS}^2 + u_{MN}^2 + u_{RR}^2 + u_{TA}^2}$$

$$= \sqrt{0.012^2 + 0.015^2 + 0.0025^2 + 0^2 + 0.0035^2 + 0.0042^2 + 0^2} = 0.020128 \quad 0.02 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 0.02 = 2 \times 0.02 = 0.04 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.25 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltilme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Başlangıç Hatası	B	Dörtgen		0.02 μm	0.02 μm	0	0.6	0.012
Kalibrasyon Belirsizliği	B	Normal		0.03 μm	0.03 μm	0	0.5	0.015
Ölçme Kuvveti	B	Normal		0-10 N	5 nm	0	0.5	0.0025
Sistem Gürültüsü	B	U		5 nm	5 nm	0	0.7	0.0035
Tekrarlanabilirlik	A		10			0		0.0042
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								0.02
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								0.04

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

Belirsizlik bileşenleri arasında en baskın olanı cihazın kalibrasyon referansının etkisidir. Bu değer sertifikada belirtilmiş standartlara uygun bir değer olduğu için üzerinde bir değişiklik yapılamaz. Sıcaklık etkisi hemen hemen tüm yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde ihmal edilirken yazılım kaynaklı belirsizlikler nano mertebesinde ölçümlerde etkin olmaktadır.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır. Ortam sıcaklıkları kontrol edilemediği halde sıcaklık proses üzerinde etkin değildir. İkinci iterasyona gerek yoktur.

12.2.9 Pistonun Rz Pürüzlülük Değerinin Ölçülmesinin Belirsizliği

Pistonun pürüzlülüğü 5 farklı noktadan alınarak ortalaması alınmaktadır. Buna göre ölçülen Rz değerleri Çizelge 12.26'de gösterilmiştir.

Çizelge 12.26 Rz değerleri ölçme sonuçları

Nominal Değer (μm)	Piston Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçüm Sonucu (μm)
9.86	26	9.86
		9.86
		9.86
		9.87
		9.87

Cihazın kalibrasyonu için ölçme işleminden önce $Rz= 2.95 \mu\text{m}$ 'lik sertifikalı kalibrasyon referansına göre kontrol yapılmış ve cihaz sıfırlanmıştır. Cihazın referansa göre yaptığı en büyük sapma $2.96 \mu\text{m}$ değeriyle $0.01 \mu\text{m}$ olmuştur.

Cihazın tekrarlanabilirliğinin saptanabilmesi için bir piston için tüm ölçüm şartları sabit tutulmak suretiyle 15 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları 9.86, 9.84, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.86, 9.84, 9.86, 9.86 ve sonuçların standart sapması $0.007\mu\text{m}$ 'dir.

Belirsizlik Bütçesi

1. Görev ve Hedef Belirsizlik

Ölçme Görevi Pistonun Rz yüzey pürüzlülüğü ölçümünün belirsizliğinin bulunması.

Hedef Belirsizlik 0.1 μm

2. Prensipler, Yöntem, Prosedür ve Şartlar

Ölçme Prensipleri Pürüzlülüğün ölçülmesi, bilinen değerle karşılaştırılması

Ölçme Yöntemi Piezo elektrik proba yüzeyin taranarak ortalama pürüzlülük değerinin bulunması.

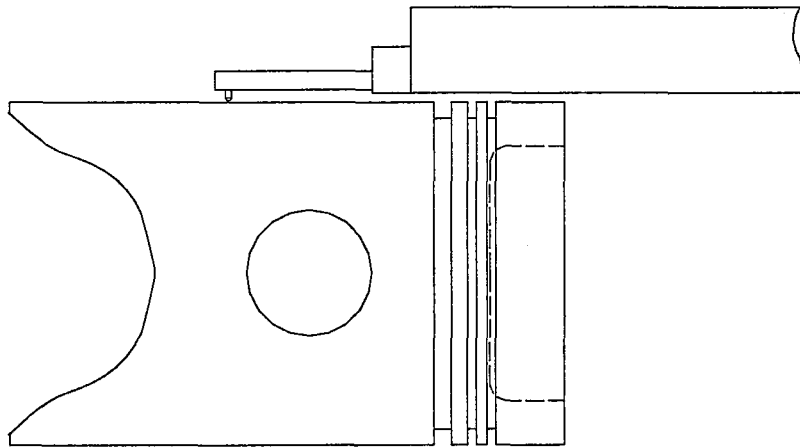
Başlangıç Prosedürü

- İşlemeden çıkmış pistonların yüzeyleri temizlenir.
- Piston X formlu fikstüre yerleştirilir.
- Ölçme probu piston yüzeyine temas ettirilir ve ölçüm yapılır.
- Piston fikstür üzerinde çevrilerek 4 farklı noktadan daha ölçü alınır.

Başlangıç Ölçme Şartları

- Ortam sıcaklığı kontrol edilmiyor
- Oda sıcaklığındaki en büyük sapma $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Operatör cihazı kullanmada deneyimli.
- Cihazın yakınında çalışan optik projeksiyon cihazı elektromanyetik etkilere sebep olabilir.

3. Ölçme Kurulumunun Grafik Gösterimi



Şekil 12.11 Ölçme kurulumunun grafik gösterimi

4. Belirsizlik Bileşenlerinin Listesi

Çizelge 12.27 Belirsizlik bileşenlerinin listesi

Düşük Çözünürlükte Gösterim	Yüksek Çözünürlükte Gösterim	Belirsizlik Bileşenlerinin İsimleri	Yorum
u_{ML}		Cihazın başlangıç hatası	Kalibrasyon esnasında cihazın sıfırdan maksimum sapmasına eşit alınır.
u_{MC}		Kalibrasyon Belirsizliği	Cihazın kalibrasyonunda referanstan kaynaklanan belirsizlik
u_{MF}		Ölçme kuvveti	Probun yüzeye uyguladığı kuvvetten kaynaklanan belirsizlik
u_{MS}		Yazılım hatası	Yazılımdan kaynaklanan belirsizlik
u_{MN}		Sistem gürültüsü	Elektriksel gürültüden kaynaklanan belirsizlik etkeni
u_{RR}	u_{RA}	Çözünürlük	0.01 μm için hesaplanır.
	u_{RE}	Tekrarlanabilirlik	İstatistiksel çalışmayla bulunur
u_{TA}		Sıcaklık	20 °C standarttan maksimum sapma 8 °C 'dir

5. İlk İterasyon

5.1 Belirsizlik Bileşenlerinin Tanımlanması ve Belgelenmesi

u_{ML} Cihazın Başlangıç Hatası

Cihazın başlangıç hatası olarak kalibrasyon esnasında cihazın referansın nominal değerinden yaptığı maksimum sapma, 0.01 μm alınır. Dikdörtgen dağılıma göre belirsizlik bileşeni hesaplanırsa:

$$u_{SL} = 0.01 \times b = 0.01 \times 0.6 = 0.006 \mu\text{m}$$

B Tipi Değerlendirme

u_{MC} Kalibrasyon Belirsizliği

Cihazın kalibrasyonunda referanstan kaynaklanan belirsizliktir. Referans elemanının sertifikasından İSO 5436-1'e göre Ra ve Rz için bu değer 0.05 µm olarak alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplarsak:

$$u_{MF} = 0.5 \times 0.05 \text{ µm} = 0.025 \text{ µm}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{MF} Ölçme kuvveti*

Ölçme probunun yüzeye uyguladığı kuvvetten kaynaklanan belirsizlik değeridir. Bu kuvvet 0-10 N arasında değişmektedir ve cihazın imalatçısından alınan değere göre ölçüm değerine maksimum etkisi 5 nm alınmıştır. Normal dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplanırsa:

$$u_{MP} = 0.5 \times 0.005 \text{ µm} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ µm}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{MS} Yazılım Belirsizliği*

Cihazın yazılımından kaynaklanan sapmalardır. Etkisi ihmal edilmiştir.

u_{MN} Sistem gürültüsü

Cihazın ve yanında çalışan optik projektörün yarattığı elektriksel gürültünün ölçüm sonucuna etkisi 5 nm olarak alınmıştır. U tipi dağılıma göre belirsizlik bileşenini hesaplanacak olursa:

$$u_{MN} = 0.7 \times 0.005 \text{ µm} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ µm}$$

*B Tipi Değerlendirme**u_{RR} Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük*

Tekrarlanabilirlik değerini saptayabilmek için piston üzerinde 15 adet ölçüm yapılmıştır. Sonuçların standart sapması 0.007 µm'dir.

Çözünürlük için ise cihazın en küçük ondalık değer olan 0.01 µm'e göre formülde (7.8) yerine koyarsak:

$$u_{RE} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0028 \text{ µm}$$

u_{RR} değerini daha büyük olan 0.007 µm olarak kabul edilir.

A Tipi Değerlendirme

u_{TA} Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının standart değerlerden gösterdiği maksimum sapma ± 8 °C'dir. Ölçme boyutlarının oldukça küçük boyutlarda olması dolayısıyla sıcaklığın belirsizlik bütçesindeki etkileri ihmal edilmiştir.

5.2 Belirsizlik Bileşenlerinde Düzeltmeler

Düzeltilme faktörü kullanılmamıştır.

5.3 İlk İterasyonda Birleşik ve Genişletilmiş Belirsizlik

Birleşik belirsizlik için:

$$u = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MC}^2 + u_{MF}^2 + u_{MS}^2 + u_{MN}^2 + u_{RR}^2 + u_{TA}^2}$$

$$= \sqrt{0.006^2 + 0.025^2 + 0.0025^2 + 0^2 + 0.0035^2 + 0.007^2 + 0^2} = 0.0269907 \quad 0.027 \mu\text{m}$$

$k=2$ güvenlik faktörüne göre genişletilmiş belirsizliği hesaplırsak:

$$U = k \times 0.027 = 2 \times 0.027 = 0.054 \quad 0.05 \mu\text{m}$$

5.4 Belirsizlik Bütçesi Özeti

Çizelge 12.28 Belirsizlik bütçesi özeti

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Ölçüm Sayısı	Sınır Değer	Sınır Değer (etkisi)	Düzeltilme Faktörü	Dağılım Faktörü	Belirsizlik Bileşeni (μm)
Başlangıç Hatası	B	Dörtgen		0.01 μm	0.01 μm	0	0.6	0.006
Kalibrasyon Belirsizliği	B	Normal		0.05 μm	0.05 μm	0	0.5	0.025
Ölçme Kuvveti	B	Normal		0-10 N	5 nm	0	0.5	0.0025
Sistem Gürültüsü	B	U		5 nm	5 nm	0	0.7	0.0035
Tekrarlanabilirlik	A		15			0		0.007
Birleşik Standart Belirsizlik (u_C)								0.027
Genişletilmiş Belirsizlik ($k=2$)								0.05

5.5 Belirsizlik Bütçesinin Değerlendirilmesi

Belirsizlik bileşenleri arasında en baskın olanı cihazın kalibrasyon referansının etkisidir. Bu değer sertifikada belirtilmiş standartlara uygun bir değer olduğu için üzerinde bir değişiklik yapılamaz. Sıcaklık etkisi hemen hemen tüm yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde ihmal edilirken yazılım kaynaklı belirsizlikler nano mertebesinde ölçümlerde etkin olmaktadır.

5.6 Birinci İterasyonun Sonuçları

Hedef belirsizlik mevcut şartlarda sağlanmaktadır. Ortam sıcaklıkları kontrol edilemediği halde sıcaklık proses üzerinde etkin değildir. İkinci iterasyona gerek yoktur.



13. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

Modern imalat sistemleri bünyesinde üretim sistemleri üzerinde tam bir hakimiyet sağlanması bir zorunluluktur. Bu hakimiyetin sağlanması için kalite sistemlerinin saptanmış olduğu belli başlı kalite araçlarının sistematik ve sürekli olarak kullanılmaları gerekmektedir.

Ölçme işlemleri mamul kalitesini dolaylı ve/veya direkt olarak etkilemektedir. Dolayısıyla ölçme prosesleriyle ilgili tüm veriler tanımlanmalı, sınırlar ve belirsizlik bölgeleri saptanmalıdır.

Kalibrasyon proseslerinde gereken hassasiyetlerde çalışamayan bir cihaz tamir edilemeyecek durumda ise derhal işaretilenerek kullanım dışı bırakılmalıdır. Cihazın kullanıma devam etmesi kalibrasyon zincirinde bir kırılmaya sebebiyet verecektir.

Akıllı ölçme cihazları yüksek maliyetlerine rağmen gün geçtikçe imalat prosesinin ayrılmaz parçaları olmuşlardır. Üretim süreçlerinin kontrolü için nitelikli ölçme cihazları kullanmak gerek cihazdan, gerek operatörden, gerekse çevreden kaynaklanan hataları minimize etmektedir. Dolayısıyla modern ölçme cihazları kalite yönetimi sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Akıllı ölçme cihazları ölçme hatalarını ve belirsizlik bölgelerini azaltsa da fiziksel olarak herhangi bir niceliğin gerçek değerini bulmak mümkün değildir. Dolayısıyla bu cihazların da hassasiyetle kalibre edilmeleri, belirsizlik bütçelerinin oluşturulması gerekmektedir. Akıllı cihazlar da konvansiyonel cihazlarda karşılaşılan belirsizlik kaynaklarından etkilenmektedirler ve birçok uygulamada karşılaşılan en baskın belirsizlik etkeni sıcaklıklardır.

ISO TS 16949 Teknik Spesifikasyonu Amerika, Asya ve Avrupa'daki otomotiv imalatçıları birleştiren bir sektör standardı olmuş ve tüm büyük otomotiv imalatçılarının desteğiyle gelip geçici olmadığını, daha önce kullanılan tüm standartların yerine geçeceğini kanıtlamıştır. Standart, ölçme cihazlarının, proseslerinin, nitelikli, onaylı mercilerce kontrolünü, ürün geliştirme, hata analizi, kalite planlama vb. birçok çalışmayı zorunluluk haline getirmiştir. Bu yenilikler TS 16949 zorunluluk haline getirdiği için yapılma yoluna gidilirse, hazırlanan kalite sistemleri yalnızca kağıt üzerinde kalırsa yararı olmayacağı gibi işletmelere büyük zarar verecektir.

Modern kalite sistemleri hataları henüz onlar meydana gelmeden saptayıp elimine etmeyi amaçlamaktadır. TS 16949 bunun için Hata Türü ve Etkileri Analizi'ni (FMEA) öngörmüştür. Simülasyon veya 3D programlarla yapılan benzetimler daha hızlı sonuç verse de sistematik bir beyin fırtınası ve analiz aktivitesi olan FMEA hataların daha iyi özümsemekle engellenmesini sağlamaktadır.

Dizayn, imalat, kalite yönetimi konularında uzman mühendisler tarafından yapılması gereken FMEA temel olarak mamulün imalinde karşılaşılabilecek hataların önlenmesi için dizayn ve proses üzerine yapılan bir analizdir. O mamul için dizayn veya imalat prosesini geliştirmesinin yanında sürekli iyileştirme sisteminin bir parçasıdır, benzer veya farklı ürünlerin tasarımında veya yeni imalat metotları oluşturulmasında FMEA verileri sürekli kullanılan temel kaynakları oluşturmaktadırlar.

Yapılan uygulamalar sonucu elde edilen özel sonuçlar

- Ölçme sonuçlarının belirsizlik bölgesi mutlaka saptanmalıdır. Saptanan belirsizlik değeri mamulün toleranslarıyla birlikte gözönüne alınarak güvenli-güvensiz bölgelerin varlığı tespit edilmelidir. Ölçme sonucunu merkez alan belirsizlik bölgesi, mamulün nominal değerini merkez alan tolerans bölgesinin tamamen içinde kalmalıdır. Aksi takdirde kalite sistemleri bünyesinde tam bir imalat hakimiyetinden söz etmek mümkün olmamaktadır.
- Sağlıklı bir ölçme işlemi için belirsizlik bölgesi tolerans aralığının 1/3'ünden fazla olmaması gerekmektedir.
- Yapılan çalışmalar için uygun biçimde hazırlanacak belirsizlik bütçeleri, kalibrasyon sertifikaları, ölçme cihazı kayıtları vb. belgeler ileride yapılacak belirsizlik bütçeleri için, bunların yanında imalat ve geliştirme süresince sürekli kullanılan kaynaklar olup daima uygun şekilde hazırlanmalı ve saklanmalıdır.
- Sağlıklı verilerle hazırlanmış bir belirsizlik bütçesinde, belirsizlik hedefi sağlanamadığı veya daha düşük bir belirsizlik bölgesi arzu edildiği takdirde daima analizi ilerleterek yeni çözümlere ulaşma imkanı vardır. Bu analiz sonucunda cihazda düzeltme faktörlerinin kullanılması, çevre şartlarının daha hassas kontrolü, hazırlık işlemlerinin geliştirilmesi, cihazın ve hatta operatörün değiştirilmesinin gerekliliğinin saptanabilmesi mümkündür.
- Belirsizliklerin tespit edilmesi için alışlagelmiş metotlarda yapıldığı gibi raslantısal hatalardan ve sistematik hatalardan kaynaklanan belirsizlikler sınıflandırılmasının yapılmasına gerek yoktur. GUM'un metoduna göre bu sınıflandırma yapılmadığı halde

belirsizlik bileşenleri üzerine yorum yapmak, baskın olanları belirlemek, analizler yapmak ve önlemler almak mümkün olabilmektedir.

- GUM'a göre belirsizlik değerleri saptanırken B tipi değerlendirme ile yapılan hesaplamalarda seçilen değerler veya kabuller olabilir. Bu yöntemin güvenilirliğini azaltmamaktadır. Değerlendirme sonucu elde edilen birleşik belirsizlik değeri genişletilmiş belirsizliğe çevrilirken gerekli olduğu takdirde 2'den büyük değerlerle de çarpılabilir.
- Genel olarak bakıldığı takdirde mekanik cihazlar, mekanik ve operatör kaynaklı belirsizlik etkenlerine, dijital cihazlar ise hem mekanik, hem elektriksel, hem de ortam sıcaklığıyla ilgili belirsizlik etkenlerine karşı hassastırlar.
- Gerek akıllı ölçme cihazları gerekse konvansiyonel ölçme cihazlarında kalibrasyon ölçme belirsizliklerini etkileyen en önemli proseslerden biridir. Uygun şartlarla, cihazlarla, yöntemlerle ve çevre koşullarıyla yapılmış kalibrasyon cihazın kullanılacağı ölçme prosesinde belirsizlik bölgesini büyük ölçüde düşürecektir. Bununla birlikte kalibrasyonu etkileyen yukarıda bahsettiğimiz her bileşen bir kalibrasyon belirsizliği oluşturmaktadır. Bu kalibrasyon belirsizliğinin de ihmal edilecek boyutlarda değilse belirsizlik bütçesinde yer alması gerekmektedir.
- Düşük çözünürlüklü ölçme cihazlarında en büyük belirsizlik kaynağı cihazın çözünürlüğüdür. Doğal olarak düşük çözünürlüklü bir ölçme cihazında herhangi bir ölçme işleminde minimum belirsizlik değeri cihazın çözünürlüğünden düşük olamaz.
- Özellikle analog skalalı ölçme cihazlarında tekrarlanabilirlik çözünürlükle birlikte baskın kaynak olarak ortaya çıkmaktadır. Çözünürlük cihazla alakalı bir faktör olduğundan değiştirilebilmesi, azaltılabilmesi mümkün değildir. Tekrarlanabilirlikse büyük oranda operatörün etkisi altındadır.
- Ortam sıcaklıkları özellikle sıcaklığın kontrol edilmediği çevrelerde etkin bir belirsizlik kaynağı olmaktadır. Sıcaklığın ölçme belirsizlikleri üzerindeki etkisi farklı faktörlere göre değişmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde ihmal edilebilecek mertebelerdeyken büyük parçaların ölçülmesinde lineer olarak artan bir etki vermektedir. Bununla birlikte ölçme cihazı ve iş parçası malzemesi ile ısıl genleşme katsayıları dolayısıyla bağlantılı olmaktadır.
- Dijital ölçme cihazları şayet çevre etkilerini tespit edip ölçüm sonucu üzerinde bir geri

besleme yapmıyorsa sıcaklığa karşı daha hassas olmakta ve analog cihazlara nispeten daha büyük belirsizlik değerleri oluşturmaktadırlar. Ancak bu cihazlar çoğunlukla çözünürlük ve operatör kaynaklı hatalara daha az meydan vermektedirler.

- Ölçme cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan referansların sertifikaları veya cihazların mekanik özelliklerini, düzlemsellik, paralellik vb. şekilsel toleranslarını, sapmalarını aldığımız sertifikalar belirsizlik bütçesinin güvenilirliğini direkt olarak etkilemektedir. Gerçekçi sonuçlar elde etmek için kaynak olarak alınan her sertifikanın ISO'nun gereksinimlerini karşılayan, uygun standart laboratuarlardan alınmış olması gerekmektedir.
- Belirsizlik bölgesi tolerans değerleri dışına çıkan bir mamul müşterinin veya parçanın ilgili standartlarının gereksinimlerini sağlama şansı olduğu halde, mevcut şartlarda ve cihazla “uygun bir üründür” denilemez. Belirsizlik bölgesi bir şekilde daraltılarak Geometrik Mamul Özelliklerine uygun çerçeveye getirilmelidir.



KAYNAKLAR

Alan, C.M., (1991), Measurement and Calibration for Quality Assurance, Prentice Hall, New York.

Coleman, H.W. ve Steele, G.W., (1999), Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers, Wiley, New York

Dieck, R.H., (1997), "Uncertainty Models", ISA Transactions, 36:29-35

Durakbaşı, N.M. ve Akdoğan, A., (2003) "Modern İmalat Sistemlerinde Ölçme, Muayene ve Test Ekipmanlarının Kontrolü-Koordinat Ölçme Cihazlarının Kalibrasyonu", TMMOB Makine Mühendisleri Odası V. Ulusal Ölçübilim Kongresi, 9-10 Ekim 2003, Eskişehir

Durakbaşı, N.M., (2002), "Modern Teknolojik İmalat Sistemlerinde Ölçme Güvensizliği Etkileri", Yıldız Teknik Üniversitesi ve Viyana Teknik Üniversitesi İşbirliği Konferansları, 08 Nisan 2002, İstanbul

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

Faber, M.N., (2001), "Quantifying the Effect of Measurement Errors on the Uncertainty in Bilinear Model Predictions: A Small Simulation Study", Analytica Chimica Acta, 439:193-201

FMEA Reference Manual, (1995), Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation

Hansen, H.N. ve Chiffre, L., (1999), "An Industrial Comparison of Coordinate Measuring Machines in Scandinavia with Focus on Uncertainty Statements", Precision Engineering, 23:185-195

Hawkins, P.G. ve Woolons, D.J., (1998), "Failure Modes and Effects Analysis of Complex Engineering Systems Using Functional Models", Artificial Intelligence in Engineering, 12:375-397

ISO 10012, (2003) "Measurement Management Systems -- Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment"

ISO TS 16949, (2002), "Quality Management Systems -- Particular Requirements for the Application of ISO 9001:2000 for Automotive Production and Relevant Service Part Organizations"

ISO 9000:2000, (2000), "Quality Management Systems Fundamentals and Vocabulary", International Organization for Standardization, 08 Dec 2000

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

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

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

ISO, (1993), "International Vocabulary of Basic and General Terms of Metrology",

International Organization for Standardization, Geneva

Kessel, W., (2002), "Measurement Uncertainty According to ISO/BIPM-GUM", *Thermochimica Acta*, 382:1-16

Locci, N., Muscas, C. ve Ghiani, E., (2002), "Evaluation of Uncertainty in Measurement Based on Digitized Data", *Measurement*, 32:256-272

Müminoğlu, M., (1994), Kalite Kavramı ile Kalite Planlama ve İPK Uygulamalarının Örnek Bir İşletmede İncelenmesi, Kal-Der Yayınları, İstanbul

Nuccio, S. ve Sparato, C., (2001), "Assesment of Virtual Instruments Measurement Uncertainty", *Computer Standards & Interfaces*, 23:39-46

QUAM 2000:P1 , (2000), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement: Second Edition, EUROCHEM

Schneider, D.B., (1962), "Error Analysis of Measurement Systems", NBS Miscellaneous Publication 248, Proceedings of the 1962 Standards Laboratory Conference, California

Semson, G.R., (2000), Measurement Errors and Uncertainties, AIP Pres, New York

Takayama, S. ve Kariya, K., (2003), "Measurement Education Through User Navigation Interface of Virtual Instrument", XVII. IMEKO World Congress, 22-27 Jun. 2003, Dubrovnik

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

Tevruz, M.N., (1999), "Endüstride Kalibrasyon Periyotlarının Tespiti İçin Bir Yaklaşım Modeli", III. Ölçüm Bilim Kongresi, 7-8 Ekim 1999, Eskişehir

Tse, F.S. ve Morse, I.E., (1989), Measurement and Instrumentation in Engineering: Principles and Basic Laboratory Experiments, Deccer, New York

Weckenmann, A., Knauer, M. ve Killmaier, T., (2001), "Uncertainty of Coordinate Measurements on Sheet-Metal Parts in the Automotive Industry", *Journal of Materials Processing Technology*, 115:9-13

INTERNET KAYNAKLARI

[1]<http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/index.html>

[2]<http://www1.conrad.de>

[3]<http://www.ecu.edu/chem/glassblowing/calipers.htm>

[4]<http://its.foxvalley.tec.wi.us/MachShop4/measure/IScmm.htm>

[5]<http://www.baty.co.uk>

[6]http://www.qualitymag.com/qty/cda/articleinformation/features/bnp__features__item/0,6425,100154,00.html

[7]http://www.qualitymag.com/CDA/ArticleInformation/Communities_Index/1,6427,61116-CMM,00.html

[8]<http://www.mylmz.net/Kalite/FMEA>

[9]<http://www.fmea.net/>

[10]<http://www.fmecca.com/>

[11]<http://www.fmeainfocentre.com/downloads.htm>

[12]<http://www.ispssoftware-solutions.com/Screen%20Shots/FMEA.htm>

[13]http://www.dyadem.com/press/fmea_auto_guidelines.htm

[14]http://www.knowllence.com/produits/tdc_fmea_en.html

[15]http://www.qualitymag.com/qty/cda/articleinformation/features/bnp_features__item/0,,99183,00+en-uss_01dbc.html

[16]<http://www.ul.com/services/ts16949.html>



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.12.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993 – 1996 Davutpaşa Lisesi

Lisans 1996 – 2000 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001 – 2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2001- Devam ediyor YTÜ Makine Fakültesi Araştırma Görevlisi

