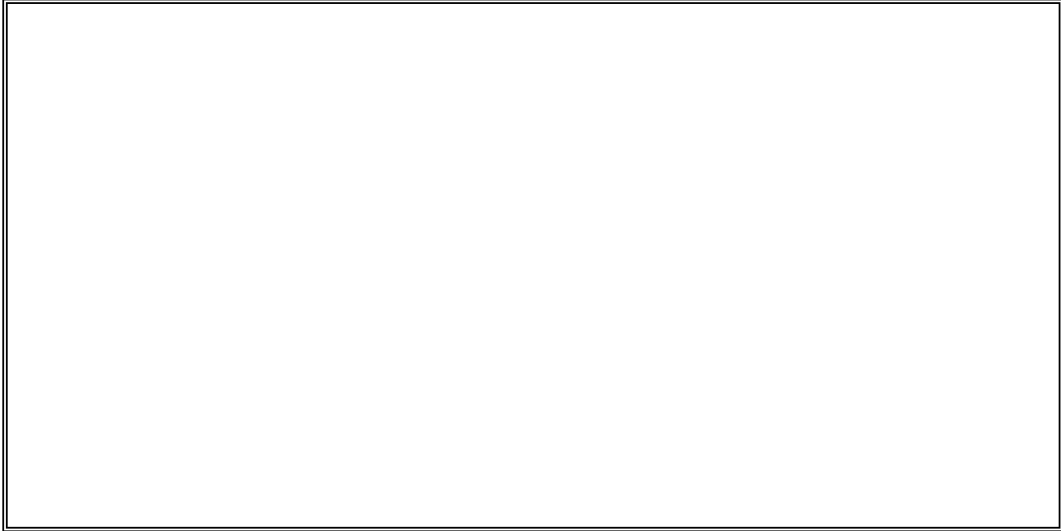


“GENEL METROLOJİ VE KALİBRASYON”



METROLOJİ

Metroloji kelime olarak metreden türetilmiş olup, ölçüm bilimi olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm biliminin amacı, bütün ölçüm sistemlerinin temeli olan birimleri (SI) tanımlayarak bilim ve teknolojinin kullanımına sunmak ve yapılan bütün ölçümlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamaktır.

Bilim ve teknolojinin gelişmesi ve çalışmalarının başarıya ulaşması, gerçekleştirilecek hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlere bağlıdır. Kaliteli ve hassas bir üretim, aynı zamanda dayanıklılık ve güvenilirliği beraberinde getirdiği için bir bütünün ayrılmaz parçalarıdır. Sağlık, çevre, bilimsel ve teknolojik araştırma, ticaret, sanayi, savunma ve benzeri alanlarda gereksinim duyulan yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip ölçümleri yapabilmek yeteneğinin yaygınlık derecesi de ülkelerin teknolojik seviyesini belirleyen temel unsurlardan biridir. Yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip bu ölçümlerin farklı yerlerde aynı karaktere sahip olabilmesi için uluslar arası bir ölçme sistemine gereksinim duyulmaktadır.

METROLOJİNİN TARİHÇESİ

İnsanlık tarihine şöyle bir baktığımızda, aletlere aktarılmadan önce de metroloji kavramının insanların sosyal hayatlarında görülmekte olduğunu fark ederiz. İnsanlar, davranışlarını toplumda sevilen, dürüst bir insana göre mukayese ediyorlar ve buna göre yapılan bir davranışın doğru olup olmadığına karar veriyorlardı. İnsanlığın gelişimiyle mukayese işlemi, üretilen mal ve aletlere de aktarılarak metroloji biliminin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir.

Yazılı tarihle başlayan ölçme teknikleri içinde ilk uzunluk standardı, parmak kalınlığı, el genişliği, karış, ayak gibi orta boyuttaki bir insanın vücudundaki parça veya mesafelerden yola çıkarılarak oluşturulmuştur. 'Firavunun Dirseği', Kral I.Henry nin burnundan el baş parmağına kadar olan mesafe, tarihte kullanılan uzunluk ölçüm birimleridir.

Toplumlar arası ilişkilerin sıklaşması ile birlikte özellikle ağırlık ve uzunluk birimlerini karşılaştıracak, bu konuda birliği sağlayacak bir ölçme sistemine ihtiyaç duyulmuştur. 17. yüzyılın ortalarında çalışmalar başlatılmış 1837 yılında kabul edilen Ölçü ve Ağırlıklar Kanununun ile uzunluk ölçüleri için metrenin tek geçerli birim olduğu açıklanmıştır. 30 sene içinde 25 metre prototipi üretilmiştir.

1869 yılında 12 ülkenin katılımıyla metrik sistem resmen kabul edilmiştir. 1870 yılında Paris'te toplanan CIM (Commission Internationale de Metre) metrenin yanı sıra kütle de uluslar arası standartlarda üretmeye karar vermiş ve 17 ülkenin katılımıyla 1875 yılında metre Konvansiyonu kabul edilmiştir. 1879 yılında 1.CGPM (Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı) 'de metre prototipi ve kütle birimi onaylanmış ve geçerliliği onaylanmıştır. Ayrıca, üye ülkelerin nüfus ve o dönemki siyasi gücüne göre yıllık ödeme yapmasına karar verilmiştir. Bu konferansta, Metre konvansiyonun kurucu devletleri arasında yer alan Osmanlı İmparatorluğu Balkan Savaşlarının patlak vermesiyle başlayan zor dönemde toplantılara katılamamış ve gereken ödemeleri yapamamıştır. Böylece 1883 yılında Metre Konvansiyonundan çekilmek zorunda kalmış ve kendisi için ayrılan metre ve kütle prototipini de alamamıştır. Cumhuriyet dönemine ait metroloji ile ilgili en önemli gelişme, 1931 tarihinde 1782 sayılı Ölçüler ve Ağırlıklar Kanununun kabul edilerek metrik sistemin kullanılmasının zorunlu hale getirilmesidir. 1933 yılında T.C. Hükümeti Metre Konvansiyonuna üye olmak için BIPM'e üyelik başvurusunda bulunmuş , BIPM tarafından Türkiye ye 21 numaralı metre prototipi ve 42 numaralı kütle prototipi verilmiştir. 1953 yılındaki karşılaştırmalı ölçümler sonucu 54 numaralı prototip Türkiye'ye teslim edilmiştir.

Teknolojik gelişimin temelinde yer alan ve her zaman ondan bir adım önde olmak zorunda olan bilimsel metrolojinin, dünyadaki hızlı gelişimi devam ederken Türkiye’de de Ulusal Metroloji Enstitüsü gereksinimi doğmuş ve 1992 yılında UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) kurulmuştur.

METROLOJİNİN FAALİYET ALANLARI

Dünyadaki metroloji sisteminin yapılaşması, organizasyon formasyonları ve yapıları bakımından farklar göstermekle beraber ir genelleştirme yapılarak organizasyon ve görevlerine göre üç faaliyet alanından bahsedilebilir. Bunlar;

- Yasal Metroloji
- Endüstriyel Metroloji
- Bilimsel Metroloji

Yasal Metroloji

Kamuyu doğrudan ilgilendiren ve ticarete konu olan ölçümlerin denklığının ve güvenilirliğinin temini ile ilgili metrolojik faaliyetler yasal metroloji kapsamındadır. Yasal metroloji, ulusal, bölgesel ve uluslar arası düzeyde etkili ticareti sağlayan ölçüm güvenilirliği için temel teşkil eder. Bu nedenle devlet, yasal metroloji düzenlemelerine ihtiyaç duymaktadır.

Metrolojinin yasal uygulamaları, kamu için veya kamu tarafından kullanılan ölçme aletleri için hazırlanan düzenlemelerin yürütülmesidir. Birer tüketici, vatandaş ve insan olarak bizlerin korunmasında, ticaret, güvenlik, sağlık ve çevre konularında yapılan ölçümlere güvenmekteyiz. Dolayısıyla, ölçüm güvenliği tüm toplum için bir gerek şarttır.

Yasal metroloji, ülkemizde Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Ölçüler ve Standartlar Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. 1989 yılında kabul edilen 3516 sayılı Ölçüler ve Ayar Kanunu yasal metroloji ile ilgili düzenlemelere temel oluşturmaktadır. Bu kanun amacı, ‘milli ekonominin ve ticaretin gereklerine ve kamu yararına uygun olarak Türkiye hudutları içinde her türlü ölçü ve ölçü aletlerinin doğru ayarlı ve uluslar arası birimler (SI) sistemine uygun olarak imalini ve kullanılmasını sağlamaktır.’

Endüstriyel Metroloji

Endüstriyel metroloji, endüstride ürün kalitesinin teminat altına alınması için üretim esnasında ve sonrasında yapılan ölçümleri esas almaktadır. Yapılan ölçümlerin ulusal ölçme standartlarına izlenebilir olması, ölçümlerin uluslar arası kurullarca belirlenen kurallara göre yapılması, endüstride kullanılan ölçü aletlerinin kalibrasyonu, ayarlanması, piyasaya sürülen ürünlerin çeşitli standart, direktif veya kurala uygun olarak üretilip pazarlandığının tescil edilmesi, üretim veya hizmet sektöründe faaliyet gösteren bir kuruluşun ISO 9000 gibi belli bir kalite güvence modeline uygun faaliyet gösterdiğinin tecili endüstriyel metrolojinin kapsamına girmektedir. Metroloji ve kalibrasyon laboratuvarları bu alanda gerekli izlenebilirlik ve sertifikasyon işlemlerini gerçekleştirmektedirler. Ulusal akreditasyon kurumları tarafından bu laboratuvarların akredite edilmesiyle yapılan işlemlerin hem uluslar arası platformda kabul görmesi hem de ülke çapında gerçekleştirilen faaliyetlerin eşdeğerliği sağlanmaktadır.

Endüstriyel metroloji, ülkemizde Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından akredite edilen laboratuvarlar ve diğer ikincil seviye laboratuvar tarafından yürütülmektedir.

Bilimsel Metroloji

Bilimsel metroloji, endüstriyel ve yasal metroloji kapsamında faaliyet gösteren laboratuvarların uluslar arası SI sistemine izlenebilirliğini sağlamak, ulusal standartlar aracılığı ile ülkede yapılan ölçümlere referans oluşturmak için yapılan araştırma geliştirme faaliyetlerini kapsamaktadır.

Bilimsel Metroloji;

- Uluslar arası birimler sistemini oluşturan birimlerin tanımına göre gerçekleştirilerek bilim ve teknolojinin kullanımına sunulması,
- Ölçme birimleri ve bunlara ait standartların gerçekleştirilmesi, üretilmesi, saklanması ve ülke çapında dağıtılması, uluslar arası ölçme standartlarına izlenebilirliğin sağlanması,
- Ölçme metotları, ölçüm performansı, ölçme doğrulukları tayini,
- Ölçme cihazlarının geliştirilmesi,
- Kullanıcı seviyesindeki operatörlerin eğitimi, çalışma standartlarının oluşturulması

konularını içeren tüm araştırma faaliyetlerini kapsamaktadır. Bilimsel metroloji kapsamındaki çalışmalar 'Ulusal Metroloji Enstitüleri' tarafından yürütülmektedir. Bu enstitüler uluslar arası alanda buldukları seviyeyi karşılaştırmalı ölçümlerle belirlemektedirler. Uluslar arası düzeyde bilimsel metroloji alanındaki faaliyetlerin koordinasyonu BIPM tarafından sağlanmaktadır.

KALİBRASYON

Belirlenmiş koşullar altında, bir ölçme cihazı veya bir ölçme sisteminin gösterdiği değerler ile, ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisidir. Başka bir ifadeyle kalibrasyon ölçüm amacıyla kullanılan bir cihaz veya referansın gösterdiği değer ile göstermesi gereken değer değer arasındaki farkın belirlenmesidir.

Kalibrasyon işlemi, belirli bir cihazın birincil standart, ikincil standart veya kalibre edilecek cihazın doğruluğundan daha yüksek doğruluklu bir standart ile karşılaştırılması olayıdır.

Metrolojide kullanılan ve yukarıda açıklanmış olan kalibrasyon terimi ayar işlemi ile karıştırılmamalıdır. Metrolojik anlamı ile kalibrasyon, ölçüm standardı ile yapılan karşılaştırma işlemi ve bu karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçların değerlendirilmesi işlemleridir, ayar anlamı taşımaz. Kalibrasyon sonuçları, kimi zaman kalibrasyon sertifikası kimi zaman ise kalibrasyon raporları adı verilen dokümanlara kaydedilir. Özetle, kalibrasyon işlemleri dizisinde bir ölçme cihazına ait göstergenin, ölçülen büyüklüğünün gerçek değerinden sapması belirlenir ve belgelendirilir.

Doğrulama, bir ölçüm cihazı veya sistemin gösterdiği değerin, bilinen bir değer ile arasındaki farkın tanımlanmış maksimum farktan aşağıda olduğunu gösteren işlemdir.

Standartlar Hiyerarşisine Ait Kavramlar

Ulusal Standart:

Ulusal standart, bir ülkede resmi olarak tanınmış ve ülkedeki diğer tüm standartlar için, değeri referans teşkil eden, en üst seviye doğruluğa sahip temel standarttır. Türkiye de ulusal standartlar UME tarafından oluşturulur ve muhafaza edilir.

Referans Standart:

Genel olarak belirli bir mekanda veya belirli bir organizasyonda elde edilebilir en yüksek metrolojik vasfa sahip olan ve orada yapılan ölçümlerin kendisinden türetildiği standart.

Çalışma Standardı:

Ölçme cihazını kalibre veya kontrol etmek için rutin olarak kullanılan ve genelde referans standart ile kalibre edilmiş standartlardır.

İZLENEBİLİRLİK

İzlenebilirlik, bir ölçüm sonucunun veya bir ölçüm standardının değerinin belirli referanslarla, genellikle ulusal veya uluslararası standartlarla, tamamının ölçüm belirsizliği belirlenmiş olan kesintisiz bir karşılaştırmalı ölçüm zinciri ile ilişkilendirilebilmesi özelliğidir. Ölçme cihazının gösterdiği ölçüm değeri ile ilgili ölçme büyüklüğünün ulusal standartla mukayesesi kademeler halinde sağlanır. Kademelerin her birinde, ölçme cihazı; ölçüm sapması daha önceden bir üst seviye standartla kalibre edilerek belirlenmiş bir standart ile karşılaştırılır.

Her alt seviye laboratuvar kendi çalışma standartlarını bir üst seviye laboratuvara kalibre ettirir ve doğruluğunun en hassas laboratuvarlara izlenebilir olması sağlanır. Bu şekilde oluşturulan karşılaştırılmalı ölçümlerin kesintisiz zincirine 'izlenebilirlik Zinciri' adı verilir.

SI (ULUSLAR ARASI BİRİMLER SİSTEMİ)

Tüm dillerde 'SI' olarak kısaltılmış şekilde gösterilen Uluslararası Birimler Sistemi (Système International d'Unités) 1960 yılında 11. Ölçü ve Ağırlıklar Konferansı'nda kabul edilmiştir. SI – Uluslararası Birimler Sistemi 7 temel birimden ve bu birimlerin çarpımı veya bölümü işlemleri ile elde edilmiş türetilmiş birimlerden oluşur.

Temel Birimler

Uzunluk: Metre (m)

Metre, ışığın boşlukta saniyenin 1/299 792 458'i kadar zaman aralığında katettiği yolun uzunluğudur. (17. CGPM, 1983)

Kütle: Kilogram (kg)

Kilogram, uluslar arası kilogram prototipinin kütesidir. (1. CGPM, 1889 ve 3. CGPM 1901) (çapı 39 mm, yüksekliği 39 mm, yoğunluğu 21,5 g/cm³ olan Pt-Ir (%90 Platin, %10 İridyum) silindirik kütesidir.

Termodinamik Sıcaklık: Kelvin (K)

Bir Kelvin, suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının 273,16'da biridir. (13. CGPM, 1967)

Zaman: Saniye (s)

Bir saniye, Sezyum 133Cs atomunun temel enerji durumunda iki süper ince düzeyi arasındaki geçişe karşılık gelen ışımının 9.192.631.770 periyotluk süresidir. (13. CGPM, 1967)

Elektrik Akımı: Amper (A)

Amper, boşlukta birbirlerinden bir metre uzaklıkta bulunan ihmal edilebilir dairesel kesitli sonsuz uzunluktaki paralel iki doğrusal iletkenin geçirildiğinde, bu iletkenler arasında metre başına 2×10^{-7} Newton'luk bir kuvvet oluşturan, zamanla değişmez elektrik akımı şiddetidir. (CIPM, 1946 ve 9. CGPM, 1948)

Işık Şiddeti: Kandela (cd)

Bir kandela, belirli bir doğrultuda 540×10^{12} Hz frekanslı monokromatik ışınım yayan ve o doğrultudaki ışınım yoğunluğu $1/683$ Watt.sr⁻¹ olan kaynağın ışık şiddetidir. (16. CGPM, 1979)

Madde Miktarı: Mol (mol)

Bir mol, 0.012 kilogram karbon 12C elementinin içerdiği atomların sayısı kadar madde yapısı öğeleri bulunduran bir sistemin madde miktarına eşittir. (14. CGPM, 1971)

Türetilmiş Birimler

Türetilmiş Birimlerden bir çoğu için özel isimler ve semboller kullanılmaktadır. Türetilmiş büyüklük, temel büyüklüklerin fonksiyonu olarak ifade edilen büyüklüktür. Örneğin: Newton (N) kuvvet, Volt (V) elektrik gerilimi, Pascal (Pa) basınç, Watt (W) güç birimleri türetilmiş birimlerdir.

Türetilmiş Birime Örnek: Newton (N)

Birim kütleyle ivmelendiren etki kuvveti olarak bilinir ve SI Birimler Sisteminde kuvvet birimi Newton, "1 kg'lık kütleyle 1 m/s^2 ivme veren etki" olarak tanımlanır. Newton'un ikinci kanunu " $F=m.a$ " kuvvetin tanımına temel teşkil eder.

Kuvvet birimi Newton $N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ olarak ifade edildiğinden, temel SI birimleri kütle (kg) uzunluk (m) ve zaman (s) kullanılarak türetilmiş bir birim olarak karşımıza çıkar.

ÖLÇÜM KAVRAMLARI

TEST: Bir ürün veya cihazın belirlenmiş şartlara uygunluğunun kontrol edilmesidir. Test sonucunda ürün, cihaz veya malzemenin özellikleri hakkında bilgi edinilir. Örneğin, malzeme ve mekanik ürün testinde, malzemeye bağlı olarak değişen elastiklik modülü, akma, kopma, burma, yorulma mukavemeti gibi özellikleri tespit edilir. Makine, alet ve elektronik cihazların testinde, ürün veya cihazın belirlenen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediği kontrol edilir. Örneğin basınç transdüserlerinin bir standartla, tekrarlanabilirlik, histerisiz, doğrusalılık gibi karakteristiklerinin belirlenmesi kalibrasyon, belirli bir basınç değerine kadar bozulmadan ve sızdırmadan ölçebilirliğinin kontrolü test işlemine girer.

ANALİZ: Verilen bir maddeyi veya malzemeyi oluşturan yapı taşlarını bulmak için yapılan işlemler dizisidir. Bir Metalin içindeki alaşım elementlerinin X-ray spektrometresi ile tespiti, suyun kirlilik oranını belirlemek için yapılan ölçümler, yapının içeriğini oluşturan maddelerin tespiti ve o maddeyi oluşturan yapı taşlarının her birinin maddenin bütünü içindeki miktarının belirlenmesine yönelik olduğundan analiz kapsamında ele alınan ölçümlerdir.

ÖLÇÜM : Bir büyüklüğün değerinin bulunmasına yönelik işlemler dizisidir. Örneğin tornada işlenen bir silindirik parçanın çapının belirlenmesi için yapılan işlem ölçümdür.

Ölçüm Esasları

Ölçmenin amacı, ölçülecek miktarın büyüklüğünü belirlemektir. Bunu başarmak için büyüklüğün yapısını bilmek gerekir. Ölçülecek büyüklükler genel olarak iki kısma ayrılırlar;

- 1- Fiziksel Büyüklükler
- 2- Fiziksel olmayan büyüklükler

Kuvvet, basınç, uzunluk, kütle ve sıcaklık fiziksel büyüklüklere örnek verilebilir. Sertlik, yüzey pürüzsüzlüğü büyüklükler fiziksel olmayan büyüklüklerden olup bunlar endüstriyel büyüklüklerde denir. Fiziksel büyüklüklerin temelinde fiziksel kanunlar mevcut olup, temel büyüklüklerden bu kanunlara türetilmişlerdir. Fiziksel olmayan büyüklüklerin temelinde herhangi bir yasa ve kanun mevcut değildir.

Fiziksel büyüklüklerin ölçüm sonucu, ölçme yöntemine bağlı değildir. Ölçme yöntemi ne olursa olsun sonuç değişmez. Örneğin bir ölçme bloğu (johnsson master) ölçümünde iki uç arasındaki mesafe, ölçüm yöntemi ne olursa olsun standart koşullar altında aynı olur. Fakat sertlik ölçümünde uygulanan metoda göre sonuçlar değişir. Rockwell, Brinell, Vicker gibi sertlik ölçme metotlarının her birinde farklı bir birim ve sonuç elde edilir.

Ölçüm Doğruluğu ve Tekrarlanabilirlik

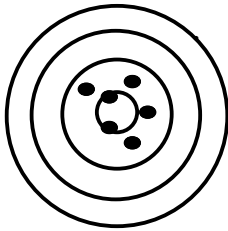
İyi bir ölçümden beklenen, ölçümün gerçekleştirilme amacına yönelik olarak, uygun derecede bir doğruluğa sahip olmasıdır. Ölçüm doğruluğu (Accuracy), ölçüm sonucu ile ölçülen büyüklüğün gerçek değeri arasındaki yakınlık derecesidir.

Doğruluk (Accuracy) : Doğruluk nitel bir kavram olduğundan sayısal olarak ifade edilmemelidir. Doğruluk kavramı ifade edilirken, doğruluğu yeterli düzeyde, yüksek doğruluk veya düşük doğruluk gibi terimler kullanılmalı, doğruluk seviyesinin rakamlar kullanılarak verilmesinde kaçınılmalıdır. Doğrulu ifade etmenin en iyi yolu ölçüm hatasının veya hata sınırının verilmesidir. Ölçüm hatası nicel bir kavram olduğundan sayısal olarak ifade edilebilir. Bir çok ölçüm raporunda görülebilen, "ölçüm doğruluğu $\pm 0,05\%$ 'dir" ifadesiyle anlatılmak istenen, hata sınırının $\pm 0,05\%$ olduğu ve yapılan ölçümlerde elde edilecek sonuçların bu sınır değerlerin dışına çıkmayacağıdır.

Ölçüm doğruluğunun ifade edilmesi ile ilgili bir diğer sorunda, kesinlik (precision) kelimesinin doğruluk (accuracy) yerine kullanılmasıdır. Doğruluk, ölçüm değerinin, gerçek değere yakınlığını veya uygunluğunu ifade ederken, kesinlik ise bir grup ölçüm veya cihaz içinde uyuma veya anlaşma derecesini ifade eder.

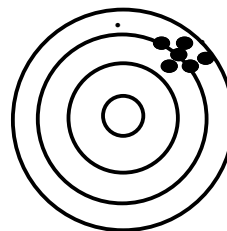
Kesinlik (Precision) : Sistemin tekrarlanabilirliğinin bir ölçüsüdür. Tekrarlanabilirlik, aynı ölçüm koşulları altında (aynı ölçüm prosedürü, aynı gözlemci, aynı ölçme cihazı, aynı konum, aynı kullanım koşulları, kısa zaman aralığında tekrar) gerçekleştirilen, aynı ölçülen büyüklüğe ait birbirini izleyen ölçüm sonuçları arasındaki yakınlık derecesidir ve sonuçların dağılımı cinsinden nicel olarak ifade edilir. Kesinlik tekrarlanabilirliğin nitel bir ifadesidir.

Doğruluk ve tekrarlanabilirlik için aşağıdaki şekillerde, eşit beceriye sahip dört kişinin hedef tahtasına yaptığı atışlar incelendiğinde, D'de hem doğruluğun hem de tekrarlanabilirliğin varlığından söz edebiliriz. B'de tekrarlanabilirlik vardır fakat doğruluk çok düşüktür. A'da doğruluktan söz edilebilir fakat tekrarlanabilirlik kötüdür. C'de ise ne doğruluktan ne de tekrarlanabilirlikten söz edilebilir.



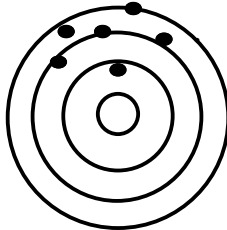
A

Doğru ama kesin değil



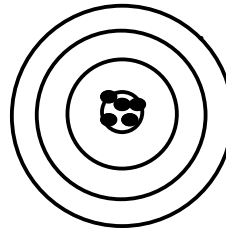
B

Kesin ama doğru değil



C

Doğru değil, kesin değil



D

Doğru ve kesin

Linearite (Doğrusallık) ölçümleri : Ölçüm cihazlarının, ölçüm aralığının değişik bölgelerinde ölçüm yapılmasıdır. Doğrusallık ölçümleri, küçük değerden büyük değere doğru, mümkünse eşit aralıklarla arttırarak yapılır.

Histerizis ölçümleri : Doğrusallık ölçümlerinin yapıldığı noktalarda, büyük değerden küçük değere doğru yapılan ölçümlerdir.

ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Ölçüm belirsizliği, ölçüm sonucu ile beraber yer alan ve ölçülen büyüklüğe, gerçek değerinin içinde bulunduğu değerler aralığına karşılık gelebilecek değerlerin dağılımını karakterize eden parametredir. Ölçüm belirsizliği genel olarak birçok bileşeni içerir. Sistemik etkilerden kaynaklananlar da dahil olmak üzere, düzeltmeler ve referans standartlar, ölçme cihazı ve ölçülen standartla beraber gelen bileşenler gibi belirsizliğin tüm bileşenleri bu dağılımın birer parçasıdır. Bu bileşenlerin bir kısmı ölçüm serileri sonuçlarının istatistiksel dağılımından hesaplanabilir ve deneysel standart sapma yardımı ile karakterize edilir. Standart sapma ile karakterize edilebilen diğer bileşenler de tecrübeye veya diğer bilgilere dayanarak kabul edilmiş olasılık dağılımlarından hesaplanabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi, ölçüm sonucu ölçülen büyüklüğün değerinin en iyi tahminidir.

Gerçek değer; ele alınan belirli bir büyüklüğün tanımına karşılık gelen ve ancak ideal bir ölçüm ile elde edilecek bir değerdir.

Konvansiyonel gerçek değer; bir büyüklüğün en iyi tahmini değeri olarak tanımlanabilir.

Ölçüm hatası; ölçüm sonucundan, ölçülen büyüklüğe ait gerçek değerin çıkartılmasıyla elde edilen değerdir.

Hatalar çok genel olarak iki grupta değerlendirilir.

- Rasgele(tesadüfi) hatalar
- Sistemik hatalar (Bias)

Hata ve ölçüm belirsizlikleri pratikte birbirlerini etkileyip ölçüm kalitesine etki etmektedirler. Ancak hata ile ölçüm belirsizliği eşdeğer kavramlar değildirler. Bu nedenle birbirlerinin yerine kullanılmamalıdır.

Rasgele (tesadüfi) hatalar: Hakim olamadığımız unsurlardan kaynaklanan, değerini ve işaretini belirleyemediğimiz ölçüsel sapmalardır. Rasgele hatalar, tekrarlayan gözlemlerde farklı değerler çıkmasına neden olurlar. Bir ölçümde rasgele hatayı dengelemek olanaklı değilse de, çok sayıda gözlem yapılarak teorik olarak sıfıra da düşürülebilir. Bu hataya neden olabilecek hata kaynakları;

- Ölçüm cihazında hakim olamadığımız etkiler
- Hakim olamadığımız ölçüm koşullarının etkileri
- Ölçüm değerindeki hakim olamadığımız değişiklikler
- Gözlemcinin/personelin rasgele hataları

Sistemik hatalar (Bias): Aynı ölçüm şartlarında (aynı ölçme düzeneği, aynı gözlemci/personel, aynı ölçüm yeri, aynı çevre koşulları ve aynı parça üzerinde çok kısa zaman aralığında peş peşe yapılan ölçümler) değeri ve işareti (+/-) sabit kalan veya belirli bir kurala göre değişen ölçüsel sapmalardır. Sistemik hataya neden olabilecek hata kaynakları;

- Ölçüm cihazı hataları
- Referans cihaz ile ölçüm cihazı arasındaki sıcaklık farkı
- Gözlemcinin/personelin sistematik hataları
- Ölçüm sistemi hataları
- Referans standart hataları

Sistematik hatalar genellikle tek bir nedenden kaynaklanmazlar. Bu nedenle ilk anda sistematik hataların saptanmaları olanaksızdır. Bunu saptamak için karşılaştırma ölçümleri yapılabilir. Karşılaştırma ölçümleri sırasında hataya neden olduğu tahmin edilen parametreler sırası ile değiştirilerek ölçüm sonuçları kaydedilir. Kaydedilen sonuçların karşılaştırılması sonucunda hata nedeni/nedenleri saptanır. Ölçüm cihazının kendisinden kaynaklanan sistematik hatanın saptanması için tekrar kalibre etme yoluna gidilir. Saptanan sistematik hatalar ölçme işleminin raporlanması sırasında dikkate alınmalıdır.

Sistematik hatalar da rasgele hatalar gibi tamamen yok edilemez fakat onların değerleri de ciddi ölçüde düşürülebilir. Sistematik hata, ölçümü etkileyen niceliğin bilinen bir etkisinden kaynaklanıyorsa, bu etki nicelendirilebilir ve bu etkiyi dengelemek için düzeltme veya düzeltme faktörü uygulanır. Bu uygulamadan sonra sistematik etkenlerden kaynaklanan hatanın beklenen değeri sıfırdır.

Belirsizlik Hesabı Aşamaları ;

- Matematiksel model
- Belirsizlik kaynaklarının tanımlanması
- Belirsizlik bileşenlerinin hesaplanması
- Belirsizlik bütçesi
- Toplam belirsizlik
- Genişletilmiş belirsizlik
- Belirsizlik beyanı

Matematiksel Model :

Yapılan ölçüm bir formüle bağlı ise;

Örneğin yoğunluk : $d = m / V$

Muhtemel Belirsizlik Kaynakları :

- Ölçüm prosedürü
- Ölçüm cihazı
- Yapılan hesaplamalar
- Ölçümü yapan kişi
- Ölçülen
- Ölçülenin tanımı
- Ölçüm düzeni
- Çevre
- Ölçüm cihazının referansı

Belirsizlik Bileşenleri :

Ölçüm sonuçlarının içerdiği belirsizlik, genellikle pek çok belirsizlik bileşeninden oluşur. Bu bileşenler iki grupta toplanır ;

- A Tipi belirsizlik bileşenleri
- B tipi belirsizlik bileşenleri

A Tipi Bileşenler

İstatistiksel yöntemler kullanılarak hesaplanır.

Aritmetik Ortalama: Değerlerin toplamının değerlerin sayısına bölünmesi sonucunda elde edilen değer olarak tanımlanır.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_i}{n}$$

Standart Sapma : Aynı ölçülen büyüklüğe ait n adet ölçümden oluşan bir seri için, aşağıdaki formül ile verilen s parametresi sonuçların dağılımını karakterize eder. Standart sapma, terazinin tekrarlanabilirliğinin kontrolünde kullanılan matematiksel bir değerdir.

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}$$

B Tipi Bileşenler

- Kalibrasyon sertifikası
- Cihaz spesifikasyonları
- Daha önceden elde edilmiş ölçüm sonuçları
- Deneyimlerden elde edilmiş bilgiler
- Referans kitaplarda verilen belirsizlik değerleri

Toplam Belirsizlik

Toplam belirsizlik, belirsizlik bileşenlerinin karelerinin toplamının kare köküdür.

$$u = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

u = toplam belirsizlik

σ = bileşenlerden gelen belirsizlik

Geniletilmiş belirsizlik

Genişletilmiş belirsizlik, ölçülenin belirli bir güven seviyesinde verilen aralıkta bulunduğunu ifade eder.

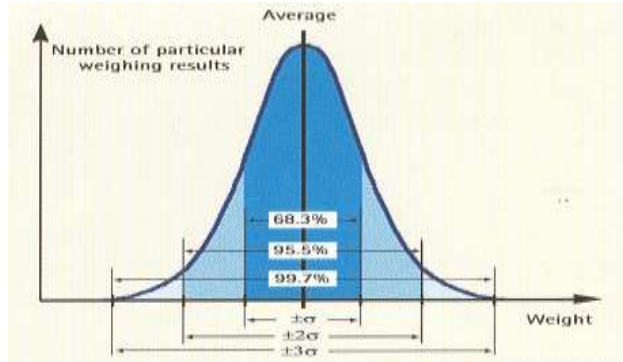
$$U = k \times u$$

U = genişletilmiş belirsizlik

k = kapsama faktörü

u = toplam belirsizlik

Güvenilirlik Aralığı



Ölçümle sonucunda X'in en uygun değeri bulunduktan sonra ikinci olarak bulunması gereken bu uygun değer X'in gerçek değerini ne kadar temsil ettiğidir. Bu her ölçümün sonuna \pm olarak eklediğimiz nicelikler ve güvenilirlik aralığı olarak adlandırılır.

Belirsizlik Beyanı

Belirsizlik, $x \pm U$ olarak ve mutlaka kapsama faktörü ile birlikte beyan edilmelidir.

Örnek : Ölçüm belirsizliği $\pm 0,23$ olarak hesaplanmıştır.

Kalibrasyondaki belirsizlik Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM, ISO 1993) dokümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, $k=2$ olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 güvenilirlik sağlamaktadır.