

ÖLÇME

Yard. Doç. Dr. M. Turhan ÇOBAN
EGE ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği

MK 413 Makine Laboratuvarı I
dersi ilk 4 haftasında verilmek üzere hazırlanmış ders notlarıdır.

BÖLÜM I

ÖLÇÜMÜN TEMEL KAVRAMLARI

1.1 GİRİŞ

Bilimin temel üretken güce dönüşümü, artan ölçme doğruluğuna gösterilen ilgiyle doğrudan ilişkilidir. Gerçek nesnel çalışmaların çoğu ölçmeye indirgenmiştir. Aynı zamanda, bilimsel araştırmaların sonuçları bu gerçeğin gelişmesine temel teşkil eder. Metroloji ile ilgili bilim ve teknolojinin hızla ilerlediği günümüz koşullarında, daha geniş bilgi ve daha yüksek teknik yeterlilik modern ölçüm sistemlerini geliştirmek ve kullanmak için gereklidir.

Tüm mühendislik uygulamalarında, emniyetli çalışma koşullarını gerçekleştirebilmek ve uzun dönemde kararlı ve ekonomik tasarımlara sahip olabilmek için sistem üzerine etkiyen tüm faktörlerin, önceden belirlenmiş doğruluk limitleri içinde bilinmesi gerekmektedir. Özellikle 1980 sonrası sanayimizdeki gelişme, yüksek teknoloji kullanımının yaygınlaşması ve ISO 9000 standartlarının getirdiği yükümlülükler, ölçmenin önemini arttırmıştır. Ürün kalitesi kadar, ürün kalitesi temininde kullanılan teçhizatın, kalitesi ve uygun kalibrasyon şartları gibi konular, metroloji açısından büyük önem taşımaktadır.

Yüksek teknolojinin gereklerinden birisi olan yüksek duyarlılık ve doğrulukta ölçüm yapabilme yeteneği, ortaya çıkan ürünün kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olmasında en büyük rolü oynar. Bu nedenle endüstrileşmenin kaçınılmaz şartlarından birisidir. Örneğin, seksenli yıllarda yapılan bir çalışmada, Amerika'da Japon kökenli otomobillerin çok satılmasındaki önemli etkenlerden birisinin de kapıların çok kolay açılması olduğu belirlenmiştir. Japonya'da üretilen kapı ve kasa boyutlarının toleransının 1 mm, yani ABD'dekinin yarısı kadar olduğu ve bu fark nedeni ile Amerikan arabalarının kapılarını açmak için yaklaşık üç misli bir kuvvete gerek duyulduğu ortaya çıkmıştır. Bu tip örneklerin sayısını kuşkusuz arttırmak mümkündür.

Metroloji ve kalibrasyonun, endüstriyel faaliyetlerin hayati parametresi olarak görülmesinin yegane sebebi, elbetteki sadece sanayi ürünlerinin kalitesinin teminine yönelik bir titizlik değildir. Karakteristikleri kesin olarak belirlenmiş bir referans sistemine göre yapılacak kontroller, çoğu zaman üretim yönteminin başarıya ulaşabilmesi için kaçınılmazdır. Bu nedenle, yüksek doğruluk ve tekrarlanabilir ölçümlere duyulan ihtiyaç, teknolojinin gelişmesiyle artar ve beraberinde kalite kontrolünün önemini artırır.

Çeşitli çıktıların ve aktivitelerin sayısal olarak tanımlanması ölçmeyle sağlanmaktadır. Dolayısıyla, ticaret, bilim ve teknoloji, endüstri ve tarımın yanı sıra tıp ve sağlık, güvenlik, enerji üretimi ve dağıtımı, spor, telekomünikasyon, taşımacılık gibi insanoğlunun günlük yaşamını etkileyen birçok alanda büyük ölçüde önem taşımaktadır. Konu ile ilgili örnek verilecek olursa, zamanın doğru ve hassas olarak ölçümü ve zaman ölçme aracı olarak kullandığımız saatler yaşamımızın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bir makinanın iç parça boyutlarının küçük toleranslara sahip olması, yakıt tüketimini azaltmak, hava kirliliğini önlemek ve aynı zamanda makinanın ömrünü arttırmak açısından gerekli bir parametredir. Bir radyoterapi cihazının doğru ölçümden yoksun olması, kanserojen bir tümörün tedavisi için ihtiyaç duyulan ışınları

üretmeyebilir veya zararlı radyasyon yayılımına sebep olabilir. Bugün orta seviyede endüstrilemiş bir ülkede, benzin pompaları ile ölçülen benzinin tutarı yıllık milyonlarca dolara ulaşmaktadır. İngiltere’de, benzin pompaları ile ölçülen yıllık petrol ürünlerinin miktarı 15 milyar Sterlin civarındadır. Kalibrasyonsuz ve doğru ölçüm yapmayan pompalar bir yıl içinde büyük parasal kayıplara sebep olabilir. Avustralya’da, ticari ölçüm işlemleri yıllık 320 Milyar Avustralya Doları tutarındadır. Spor karşılaşmalarında rekorların ve kimin daha başarılı olduğunun belirlenebilmesi için hassas zaman ve mesafe ölçümüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, endüstrilemiş bir ülkenin yıllık brüt milli gelirinin %3 ile %5’ini ölçümle ilgili faaliyetlerin oluşturduğunu göstermiştir.

1.2 METROLOJİ VE İZLENEBİLİRLİK

Metroloji kelime olarak metreden türetilmiş olup, anlamı ölçme bilimidir. Endüstrilemiş ülkelerde ulaşım, iletişim, enerji ağları gibi temel sosyo-eknik sistemlerden biri olarak ülkenin teknolojik açıdan üst düzeyde kalkınmasında bir altyapı niteliği taşıyan metrolojinin amacı, **bütün ölçme sistemlerinin temeli olan birimleri (SI ve türevleri) tanımlayarak bilim ve teknolojinin kullanımına sunmak ve yapılan bütün ölçümlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamaktır.**

Endüstriyel uygulamaların hızla geliştiği günümüzde, bilimin ve teknolojinin gelişmesi ve çalışmalarının başarıya ulaşması, gerçekleştirilecek hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlere bağlıdır. Çünkü, teknolojik ilerleme olarak nitelendirilen pek çok çalışmada üretilen mamulün kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olması en büyük etkidir. Kaliteli ve hassas bir üretim, aynı zamanda dayanıklılık ve güvenilirliği beraberinde getirdiği için bir bütünün ayrılmaz parçalarıdır. Sağlık, çevre, bilimsel ve teknolojik araştırma, sanayii, ticaret, savunma ve benzeri alanlarda gereksinim duyulan yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip ölçümleri yapabilme yeteneğinin yaygınlık derecesi de ülkelerin teknolojik seviyesini belirleyen temel unsurlardan biridir.

Bugün toplumun her kesiminin sahip olmayı olağan saydığı ev eşyalarının, otomotiv ürünlerinin ekonomik olabilmesini sağlayan seri üretim bu ürünleri oluşturan yüzlerce parçanın hassas olarak aynı karakterde yapılabilmesinin sonucudur. Bu da ancak boyutların, sıcaklığın, ağırlığın, gücün, empedansın, akımın, basıncın ve çeşitli malzeme karakteristiklerinin hassas ve doğru olarak ölçülebilmesi ile sağlanmaktadır. Farklı yerlerde yapılan ölçümlerin doğruluğu ve eşdeğerliğinin sağlanabilmesi için uluslararası bir ölçme sistemine gereksinim duyulmaktadır.

Geleneksel kalite kontrolünün, üretim sonunda ve her ürün için ayrı ayrı yapılmasının zaman ve kaynak açısından büyük kayıplara sebep olması, ara veya son üretim yerine prosesin kontrolünü ön plana çıkarmıştır. Ürün yerine prosesin kontrol edilmesi ve her geçen gün son ürün için kabul edilebilir toleransların azalması, üretime katkıda bulunan tüm unsurların bir bütün olarak ele alınmasını gerekli kılmıştır. Prosesin kontrol edilmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi için önceleri son üründen alınan örneklerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi yoluna gidilmiş ve bu yöntem, içinde bulunduğumuz yüzyılın ilk yarısında başarı ile uygulanmıştır. Ancak istatistiksel yöntemlere dayanan “kabul edilebilir kalite düzeyi” kavramının da üretimin bazı alanlarında uygulanmasının son derece güç, hatta imkansız olduğu ortaya çıkmıştır. Öncelikle insan sağlığını ve güvenliğini içeren konularda gereken kalitenin %100 olması zorunluluğu “sıfır hata”

anlayışını yaygınlaştırmaya başlamıştır. Bunun üzerine ürün yerine proses için kabul edilen ve alt ve üst kontrol sınırları tespit edilerek, son ürünün belirlenen normlara uyması amaçlanmıştır.

Günümüzde, hedeflenen kalitenin elde edilebilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem, belirli standartlara dayanan kalite güvence sistemlerinin kurulmasıdır. Amerikan silahlı kuvvetleri tarafından satın alınan malzemenin belirli standartlara göre üretilme zorunluluğu olması, ilk olarak Amerika’da ülke çapında bir kalite güvence sisteminin oluşturulmasına sebep olmuştur. Bu sistemin daha sonra, bazı değişikliklerle, bütün NATO ülkelerince benimsenmesi ilk uluslararası kalite güvence sistemi olan AQAP (Allied Quality Assurance Publications) standartlarını oluşturmuştur. AQAP’ın başarılı bir şekilde uygulanması sivil sektörde de ilgi görmesini sağlamıştır. Bunu takiben İngiltere’de BS 5750 standartlar serisi kalite güvence sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Seksenli yılların sonlarına doğru da ISO (International Standardization Organization) tarafından BS 5750 baz alınarak ISO 9000 kalite güvence standartları serisi yayınlanmıştır. İçlerinde Türkiye’nin de bulunduğu bir çok ülke tarafından aynen kabul edilen bu standartlar yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Dolayısıyla en çok bilinen örneği ISO 9000 serisi standartlar olan kalite güvence sistemleri, çeşitli noktalarda sürekli iyileştirmeleri ve sağlıklı geri besleme mekanizmalarının kurulması gereksinimini doğurmuştur. Bu da sistemin bir bütün olarak ele alınması, değişik yerlerde üretilen parçaların belirli standartlara uymasını ve dolayısıyla bir ölçüm birliği içerisinde üretilmesini zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluk, ölçümlerde kullanılan sistemlerin belirli referans sistemlere bağlanması şeklinde ortaya çıkmış ve bu fikir modern metrolojinin temelini oluşturmuştur.

Aynı büyüklüğü ölçen cihazlar yapı olarak birbirinden farklı olsa da bunların ölçme doğruluğunun ispat edilebilir bir zincir ile bir standarda bağlı olması ölçüm eşdeğerliliğinin güvencesini oluşturur. Mutlak doğruluk dereceleri ne olursa olsun, yapılan ölçümlerin uluslararası geçerliliğinin sağlanması ve başka yerlerde yapılan benzeri ölçümlere eşdeğerliliğinin tescil edilebilmesi, bu ölçümlerin hassasiyetinin kademeli olarak artan bir referans zinciri ile uluslararası referans ölçme standartlarına izlenebilir olmasını gerektirmektedir.

İlk halkası Paris’te kurulu (BIPM, Uluslararası Ölçü ve Ayarlar Bürosu) olan bu ölçme referans zincirinin ülke sınırları içerisinde kullanıcı seviyesine kadar tam olarak bağlantısını sağlayan metroloji laboratuvarları “Ulusal Metroloji Sistemi”ni oluştururlar. Her ülkede birincil ölçme standartlarını geliştirip muhafaza etmekle ve sistemin koordine edilmesiyle yükümlü bir kuruluş vardır. "Ulusal Metroloji Enstitüsü" olarak adlandırılan bu merkezin altında ise uygun sayıda ve yerlerde ikincil seviye veya kullanıcı seviyesinde kalibrasyon yapan laboratuvarlar bulunur. En üst seviyedeki ulusal merkez ile, uluslararası merkez ve diğer ülkelerin merkezleri arasında yapılan ölçme standartları karşılaştırmaları ve ülke çapında yapılan ölçümlerin ülke içi ve dışı benzeri ölçümlerle uyumu temin edilir; başka bir deyişle bütün ölçümlerin izlenebilirliği sağlanır.

Organize metroloji sistemi, bir ulusal kalite kontrol sisteminden söz edebilmek için gerekli kabul edilen standardizasyon, akreditasyon ve sertifikasyon aktivitelerinin güvenilirliği ve uluslararası geçerliliğini sağlayan unsurdur. Ulusal Enstitü’nün ve metroloji sisteminin uluslararası alanda tanınmış ve kabul edilmiş olması, akredite edilmiş ikincil seviye laboratuvarların verecekleri kalibrasyon sertifikalarının ve ölçüm raporlarının diğer ülkelerdeki geçerliliğini sağlayarak o ülkenin endüstriyel ihtiyacına büyük katkıda bulunur.

Metroloji sisteminin bir parçasını oluşturan ölçümlerin yürütüldüğü tüm kuruluş ve laboratuvarlar

ile ölçme faaliyetlerinde kullanılan tüm cihazlar, bir ülkenin “ölçme alt yapısı” olarak görülebilir ve bu ülkelerin endüstrileşme seviyelerini belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Ölçme alt yapısı ölçüm güvenilirliğinin elde edilebilmesi için esastır. Ölçüm güvenilirliği, ölçümde, ölçülen gerçek değerden kabul edilen tolerans değerinden fazla sapma göstermeyen ölçüm sonuçları elde edilmesidir. Ölçüm güvenilirliği, ölçüm yöntemi ile ilişkili kalibrasyon, izlenebilirlik, uygunluk değerlendirmesi, personel rekabeti ve laboratuvarın kapasitesi (yetenekleri, becerisi, vs) gibi birbirine bağlı bir çok parametreye dayalıdır.

Metroloji alanında, toplum için gerekli tedbirlerin alınmasıyla ilgili olarak metrolojik alt yapının oluşturulması ve doğru işlemesi hükümetlerin sorumluluğundadır. Hükümetin metroloji alanında üstlenmesi gereken görevler şu şekilde sıralanabilir:

- Ölçüm birimlerinin tanımlanması,
- Ulusal ölçüm standartlarının temin edilmesi ve diğer ülkelerin benzeri ölçüm standartları ile uyumunun güvence altına alınması,
- Ulusal ölçüm standartlarının ve yöntemlerinin izlenebilirliğinin sağlanması ve organize edilmesi,
- Yasal metroloji sisteminin kurulması ve yürütülmesi,
- Akreditasyon sisteminin oluşturulması,
- Metrolojik araştırma-geliştirme, eğitim ve bilgi transferi çalışmalarında rol almak

Bu noktadan hareketle, Başbakanlık 1981 yılında bir ulusal merkez kurulması için gerekli fizibilite çalışmalarını, Türkiye'nin tek bilimsel ve teknik araştırma kurumu olan TÜBİTAK'tan istemiş ve elde edilen sonuçlar ışığında bir "Ulusal Metroloji Enstitüsü" kurulmasına ve projenin de TÜBİTAK tarafından yürütülmesine karar vermiştir.

1.3 METROLOJİNİN TARİHÇESİ

Gelişen teknolojinin yaşantımızda yarattığı değişiklikler içinde bugün karşılaşılabileceğimiz en ilginç olaylardan birisi de, herhalde bir sayfanın boyutlarının zaman birimi saniye cinsinden, 594 mm -420 mm boyutlarındaki bir A3 kağıdın 1.98 ns -1.40 ns ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) olarak, ifade edilmesidir.

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 aktararak metroloji biliminin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir.

İlk uygarlıkların çoğunda, ekonomik ihtiyaçlar, miktarsal ölçümlerin yapılmasına neden oluyordu. Yiyecek, su ve malzeme miktarının ölçümü için, güvenli bir ölçek, ölçme sistemi ve değişik amaçlar için çeşitli ölçümlerin sayılarla ifade edilmesini zorunlu kılıyordu. Özellikle toplumlar arası ticaretin başlaması, belirli ölçeklere göre mal alıp verme zorunluluğunu ortaya çıkarmış ve ölçme birimlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

İlk Çağlarda Ölçme

Ölçme ve ölçme standardı oluşturma çalışmalarının, insanlık tarihi ile beraber yürütüldüğü söylenebilir. Tarihçilerin bu konuda yaptıkları incelemeler, ilk çalışmaların önce Babiller’de daha sonra da eski Mısır, Grek ve Roma uygarlıklarında yapıldığını göstermektedir. Kuvvet ve moment kavramlarını kullanan manivela ve terazilerin rastlandığı M.Ö.2000 yıllarından sonra, kuvvet ve momentin vektörel notasyonla ifade edilişi ilk olarak bu uygarlıklarda görülmüştür. İlkçağ insanların çömlekçiliğe başladıkları, metalleri ergitip döküm yaptıkları, cam işçiliğine başladıkları zamanlardan bu yana, günümüzde bile hala demircilerin, çömlekçilerin ve cam işçilerinin, kullandıkları malzeme için gereken sıcaklığa fırınlarının içinde oluşan renge ve parlaklığa bakarak karar vermeleri, ilk özgün radyasyon termometresi insan gözünü kullanarak, radyasyon sıcaklığı ölçümleri yapılmakta olduğunun göstergesidir.

Antik uygarlıklardaki binalar incelendiğinde malzeme mukavemeti ve içindeki kuvvet dağılımının belirlenmesine ilişkin problemin pratik çözümlerinin bilindiği, ancak yazılı kaynakların günümüze ulaşmadığı anlaşılmaktadır. Malzeme mukavemeti üzerine yapılan çalışmalar hakkında elde edilebilen en eski yazılı kaynak Leonardo da Vinci’ye ait olanlardır.

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 çıkılarak oluşturulmuştur. Örneğin, Nil üzerinde Chaldees’te M.Ö. 4000 yıllarında “Firavun’un Dirseği” yaygın bir standarttı ve 1 dirsek, 1/2 ayak, 2 karış, 6 el genişliği ya da 24 parmak kalınlığına eşit sayılıyordu. Bugünkü birimlerde, Firavun Dirseği 463.3 mm’ye denk gelmektedir. M.S. 1101 yılında Kral I. Henry tarafından standart olması önerilen ve I. Henry’nin burnundan el baş parmağına kadar olan mesafe olarak tanımlanan *yard* ismen de olsa bugün hala kullanılmaktadır. Farklı yerlerde farklı değerlere sahip standartların büyük kaoslara sebep olması, sabit referans standart değerinin oluşturulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu konuda ilk çalışmalar, 1528 yılında Fransız fizikçi J.FERNEL’in önerisi üzerine, Paris-Amians arasından geçen meridyenin ölçülmesiyle başlamıştır.

Ortaçağ ve Sonrasında Gelişen Ölçme Teknikleri ve Ölçümbilim

Günümüzün en önemli kavramlarından biri olan zaman, 13. yy.’a kadar kum ve mum saatleriyle ölçülmekteydi. 15.yy.’a yaklaşıldığında, günde 15 dakika sapma gösteren su saatlerine rastlanmaktadır. 1584’te Galileo’nun, günde sadece 3 dakika sapma gösteren mekanik saati icat etmesiyle zaman ölçümünde doğruluk beş kat artmıştır.

Elektrik alanında ilk bilimsel gelişmeler nitel gözlemlere dayanmaktadır. Sürtünme ile elektiriklenmenin gözlenmesi, statik elektrik olarak bilinen durgun yüklerin etkileşimleri hakkındaki çalışmaların başlamasına sebep olmuştur. Daha sonra, Coulomb Kanunu ilk nicel sonuç olarak ortaya çıkmıştır. 1825’de Sturgeon tarafından elektromıknatıs icat edilinceye kadar manyetik maddeler, doğal mıknatıs taşlarından ibaret kalmışlardır.

Sıcaklığın ilk tanımları, Max Planck’ın “herhangi bir nesnenin soğuk veya sıcak olma derecesi”, “bir ısı enerjisi seviyesi” gibi basit tanımlar olmuştur. 17.yüzyılın başlarında ortaya çıkan, termometreden ziyade bir sıcaklık sensörü olan termoskop, tarihte sıcaklık ölçümlerinde ilk kullanılan cihazdır. Termoskoplar yaygınlaştığında, kullanıcılar bunların bir şekilde kalibre edilmesi gerektiğini fark etmişlerdir.

Çeşitli yapay ışık kaynakları edinen insanoğlunun, ışığın niceliğinin tanımlanması imkanlarını merak etmesiyle başlayan araştırmaları özel fotometrik büyüklükler ve birimler sisteminin oluşturulmasına neden olmuştur. 1604'te Johannes Kepler'in fotometrinin temel yasalarından birini kullanmasıyla ışık şiddeti ve karşılaştırmalı ışık şiddeti hesaplamaları gündeme gelmiştir.

Toricelli 1643'de barometrenin temel ilkesini oluşturan teknikle atmosfer basıncını ölçmüştür. 1647'de Baise Pascal, Perier'le civa sütununun yüksekliğine göre atmosfer basıncını ve yükseklikleri ölçme yöntemini saptamıştır. Atmosfer basıncını ölçen vakum altındaki cıvalı enstrümana barometre, yükseklik ölçmekte kullanılan barometrelere ise altimetre adı verilmiştir.

1654 yılında, termometrelerde sıcaklığı hisseden madde olarak hava yerine sıvı (şarap özleri) kullanılmıştır. İmalatı Craftsman tarafından yapılan ilk termometrelerin üzerinde suyun donma noktası kalibrasyon noktası olarak bulunmaktaydı. 1657'de Del Cimento akademisi tarafından "forentino termometresi"nin içine civa dolduruldu; fakat, bu değişiklik pek başarılı olmadı. Termometreler arasındaki ilk özdeşleştirme çalışmalarından biri 1663 yılı Ekim ayında Londra'da, Robert Hooke tarafından yapılan birkaç termometreden birini standart olarak kullanıp diğerlerinin ölçeklerini bu standartlara göre ayarlanmasıyla yapıldı. Böylece iki farklı laboratuvardaki iki farklı insan tarafından yapılan ölçümleri birbirleriyle karşılaştırma olanağı ortaya çıkmıştı.

Danimarkalı bir uzay bilimci Ole Romer, suyun donma noktası ile kaynama noktası arasındaki boşluğu doğrusal olarak bölümlendirmiş, Daniel Gabriel Fahrenheit 1708 yılında, Romer'ın ölçeğinden esinlenerek termometre imalatına başlamıştır. Alkol özleri yerine, ısı değişimine bağlı olarak daha doğrusal bir genleşme gösteren cıvayı silindir tüpte kullanarak ölçeği geliştirerek günümüzün Fahrenheit ölçeğini ortaya çıkarmıştır.

Toricelli'nin basit barometresinden sonra en büyük gelişmeyi Nicolas Fortin 18.yy'da, metal barometreyi oluşturarak yaptı. Kapalı bir silindir içine konulmuş cıvaya batan bir Toricelli borusundan oluşan bu düzenek aneroid barometre olarak adlandırılmıştır.

1740 yılında İsveçten Andreas Celcius Uppsala, 100 parçaya bölünmüş, 0 derecesi suyun kaynama, 100 derecesi ise donma noktası olan yeni bir ölçek keşfetmiştir. 1743'de Jeane Piere Christin de Celcius'tan bağımsız olarak, bu ölçeği ters çevirerek bugünkü konumunda olan termometreyi imal etmiştir. 1848 yılından itibaren yazışma ismi Celcius ölçeği olmuştur.

1760'da elektronik piston saatler gündeme gelmiş ve 18. ile 19.yüzyıllarda günde bir saniye sapmayla çalışan kronometreler kullanılmaya başlanmıştır. 1796'da Royal ve Maskelin tarafından geliştirilen astronomi ile ilgili bilgiler kullanılarak mekanik saatlerin kalibrasyonu, ayarı ve izlenebilirliği sağlanmıştır.

Toplumlar arası ilişkilerin sıklaşması ile birlikte özellikle ağırlık ve uzunluk birimlerini karşılaştıracak, bu konuda birliği sağlayacak bir ölçme sistemine ihtiyaç duyulmuş ve bilimsel bir yaklaşım aranmaya başlanmıştır. 17.yüzyılın ortalarında bu konuda başlatılan çalışmalar 1793 yılında tamamlanmış ve referans ağırlık olarak $+4^{\circ}\text{C}$ 'deki 1 dm suyun ağırlığının kabul edilmesiyle, metrik sistemin temelini oluşturan ilk doğal ve evrensel ifade şekli ortaya çıkmıştır. Mart 1790'da Paris'te toplanan "Bilim Adamları Akademisi"nin, Dunkirk-Barcelona üzerinden geçen meridyenin 1/40 000 000'ini yeni referans uzunluk olarak kabul etmesiyle uzunluk

biriminin dünyanın özellikleri üzerinden türetilmesi gerekliliği tekrar gündeme gelmiştir. Birimin adı da Yunanca “METRON” dan alınan “METRE” olarak kabul edilmiştir. 1793 yılında yapımına karar verilen ön metre prototipi, 25 x 40.5 mm kesite sahip saf platinyum çubuk olarak yapılmıştır. 1799’da, ağırlık biriminin de, daha pratik kullanımını sağlamak amacıyla platinden imal edilmesine karar verilmiş, platinyumdan yapılmış kilogram ve metre standartları Fransa ulusal arşivine yerleştirilmiştir. 1837 yılında kabul edilen Ölçü ve Ağırlıklar Kanunu ile uzunluk ölçüleri için metrenin tek geçerli birim olduğu açıklanmıştır. Bundan sonra geçen 30 sene içinde üretilen 25 metre prototipi bazı dünya ülkelerine dağıtılmıştır.

İlk ışık şiddeti standardı olarak gerçek mumlar kullanılmıştır. Almanya’da parafin ve stearinden, İngiltere’de ise spermasetten büyük titizlikle üretilen standart mumlar yerini, 18. yüzyıl sonlarında Fransa’da üretilen fitili özel yağa daldırılmış Carselle lambasına bırakmıştır.

1848-1854 yıllarında Lord Kelvin tarafından Termodinamik Sıcaklık Ölçeği geliştirilmiştir. Değişik üreticiler tarafından imal edilen termometrelerin yaygınlaşması ve elde edilebilir olması neticesinde doğal olarak birbirleriyle karşılaştırma gereği ortaya çıkmıştır. Kalibrasyonlar iki sabit noktada ve bu noktalar arası doğrusal kabul edilerek yapılmıştır. 1884 yılında “Chappius of the International Bureau of Weights and Measures”de, sabit hacimli hidrojen gazlı termometreler kullanılarak 8 farklı cıva termometresi incelenmiştir

Uluslararası Standartta Metre ve Kütle Prototiplerinin Doğuşu ve Metre Konvansiyonu

1869’da, 12 ülke tarafından metrik sistemin resmen kabul edilmesinin ardından, birkaç Fransız üye ve diğer ülkelerin temsilcilerinden oluşan CIM (Commission Internationale de Metre) olarak adlandırılan bir komisyon kurulmuştur. 1870 Ağustos’unda Paris’te toplanan CIM, metrenin yanı sıra kütleli de uluslararası standartlarda üretmeye karar vermiştir. 1872 yılında arşiv metreden türetilmiş, aşınma direnci yüksek %90 platinyum %10 iridyum alaşımından 20 x 20 mm’lik X kesite sahip metre, ve 1879’da çapı ve yüksekliği 39 mm olan silindirik kilogram prototiplerinin imaline başlanmıştır. Uluslararası prototipin içlerinden seçildiği 30 benzer standart metre prototipi ve 40 adet kilogram prototipi üretilmiştir. Bütün bu kararların alınarak hayata geçirilmesini sağlaması açısından ölçme standartları konusunda evrensel birliği sağlamaya yönelik en önemli gelişme sıfatını taşıyan Metre Konvansiyonu, 17 ülke tarafından 25 Mayıs 1875’de Paris’de imzalanmıştır. Bu ülkelere uluslararası prototiplerle karşılaştırılmış, birer prototip verilmiştir.

1879 yılı Ekim ayında 1.CGPM (Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı)’de metre prototipi ve kütle birimi onaylanmış ve geçerliliği garanti edilmiştir. Ayrıca, üye ülkelerin, nüfus ve o dönemki siyasi gücüne göre yıllık ödeme yapmasına karar verilmiştir. Bu konferansta, Metre Konvansiyonu’nun kurucu devletleri arasında yer alan Osmanlı İmparatorluğu, Miralay Hüsnü Bey tarafından temsil edilmiş ve ilk yıllık ödeme olarak en yüksek dördüncü aidat ödenmiştir. Balkan Savaşları’nın patlak vermesiyle başlayan zor dönem nedeniyle Osmanlı İmparatorluğu, kurul toplantılarına katılamamış ve yapılması gereken ödemeleri yapamamıştır. Böylece, Osmanlı Devleti 1883 yılında Metre Konvansiyonu’ndan çekilmek zorunda kalmış, kendisi için ayrılmış olan kilogram ve metre prototipini de alamamıştır. Buna karşın, Osmanlı Devleti’nden bağımsızlığını kazanan Sırbistan’a 1889’da, Romanya’ya 1891’de kilogram prototipleri verilmiştir.

Metre Konvansiyonu Ardından Ölçümbilim’de Gelişmeler 1881 yılında Paris’te toplanan ilk Uluslararası Elektrik Kongresi sonucunda, İngiliz Birliği’nin Amper, Ohm ve Volt birimleri resmi olarak onaylanmış ve uluslararası tanımlar içinde yer almıştır. Kapasitans biriminden de ilk olarak burada söz edilmiş ve CGS birim sistemi içerisine dahil edilmiştir.

1827’de Fransız fizikçi J.Babinet’in reddedilen önerisi ışığın dalga boyunun uzunluk ölçümlerine uygulanması,1889 yılında başlayan ilk çalışmalarda tekrar gündeme gelmiş, 1892’de Alman bilim adamı Albert Michelson görünebilir radyasyon bölgesinde Kadmiyum lambasının kırmızı spektral dalga boyunu keşfetmiştir.

1892 yılında, ilk olarak Dr.Edward Weston tarafından üretilen kimyasal doymuş piller, o tarihten itibaren gerilim biriminin elde edilmesinde uzun yıllar birincil seviye elektriksel gerilim standardı olarak metroloji dünyasına hizmet etmişlerdir. Doymuş Weston piller (kadmiyum piller), Josephson eklem sisteminin geliştirilmesi ile bu konumlarını kaybetmelerine rağmen bugün halen gerilim standardı Josephson eklem sisteminin bulunmadığı pek çok laboratuvarında birincil seviye gerilim standardı olarak kullanılmaktadır.

1909’da İngiltere, Fransa ve ABD metroloji merkezleri tarafından desteklenen ışık şiddetinin yeni birimi, ‘uluslararası mum’ 1948’e kadar geçerli olmuştur. Akaryakıtlı beslenen standartların en pratik olanı, Hefner lambası da bu yıla kadar Almanya, Avusturya, İsviçre ve diğer ülkelerde standart olarak kullanılmıştır.

Washington’da 1910 yılında, Amerikan Ulusal Standartlar Bürosu (NBS) bünyesinde düzenlenen Uluslararası Çalışma Komitesi toplantısında, bu ülkelerin direnç ve gerilim standartları karşılaştırılmış ve uluslararası birimler olarak kullanılacak değerlere karar verilmiştir. 1928’den sonra Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu laboratuvarlarında, diğer ulusal laboratuvarlarda muhafaza edilen direnç ve elektromotor kuvvet standartlarını periyodik olarak karşılaştırmak mümkün olmuştur.

1925’de yapılan ölçme bloğu interferometresiyle uzunluk ölçümünde belirgin bir gelişme kaydedilmiştir. 1927 yılında 7.Ölçüler ve Ağırlıklar Konferansı’nda uluslararası metre prototipine paralel olarak, metre tanımı, “atmosferde Kadmiyum’un kırmızı dalga boyunun 1 552 164.13 katı” şeklinde kabul edilmiştir. Ancak spektral ölçümler yaygın olarak kabul görmediğinden gündemde uzun süre kalamamıştır.

1927’de Marrison ve Horton, iki yılda sadece 1 saniye kayıpla işleyen Quartz saatleri geliştirmişlerdir. 1930’da orta ölçekli zaman aralıkları için mekanik saat kalibrasyonu,bu saatlerin sinyallerini, doğruluğu kendilerinden daha yüksek Quartz osilatörlerin sinyalleriyle karşılaştırarak yapılmaya başlanmıştır.

Ülkemizde Metroloji Alanındaki Gelişmeler

1875’de Miralay Hüsnü Bey’in Osmanlı İmparatorluğu adına Metre Konvansiyonu’nu imzalamasından sonra, ülkemizde, Cumhuriyet dönemine ait Metroloji ile ilgili en önemli gelişme, 26 Mart 1931 tarihinde 1782 sayılı Ölçüler ve Ağırlıklar Kanunu’nun kabul edilerek metrik sistemin kullanılmasının zorunlu hale getirilmesidir. Mart 1933’de T.C. Hükümeti Metre Konvansiyonu’na üye olmak için BIPM’e üyelik başvurusunda bulunmuştur.BIPM tarafından

Türkiye'ye, Pt-Ir alaşımından daha ucuz olan, nikelden yapılmış bir metre prototipi ile baros ya da monelden yapılacak bir kilogram prototipi verilmesi önerilmiş fakat Türk hükümeti tarafından kabul edilmemiştir. Bunun üzerine 30 metre prototipi arasında yer alan 21 numaralı metre prototipi ve Pt-Ir alaşımından 42 numaralı kütle prototipi imal edilerek 1935'de Türkiye'ye verilmiştir. 1953 yılında başlatılmış olan II. Uluslararası Kütle Prototiplerinin Karşılaştırma Ölçümleri'ne gönderilen 42 numaralı Ulusal prototipin, BIPM'de yapılan ilk muayenesi neticesinde, düşürülmüş olduğu tespit edilerek değiştirilmesi teklif edilmesi üzerine söz konusu prototip yerine Paris Conservatoire National Des Metier'de imal edilen 54 numaralı prototip Türkiye'ye teslim edilmiştir.

20.yy.'da Metroloji ve Uluslararası Alanda Gerçekleştirilen Çalışmalar

1931'de CIPM (Conferance International de Poinds et Mesures-Uluslararası Ölçüler ve ağırlıklar Konferansı), ışık şiddeti birincil standardı için CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)'nin Candela (cd) olarak adlandırdığı tanımı kabul etmiştir.

1954 yılında uluslararası bir anlaşma ile amper, 9.CGPM'de kabul edilen tanımı ile MKS (Metre-Kilogram-Saniye) birim sistemine eklenmiş ve MKSA oluşturulmuştur.

Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-48'de Wien kanunu yerine, Planck kanunu kullanılmaya başlanmıştır. 1958 yılında Kostkowski ve Lee tarafından tasarlanan fotoelektrik pyrometreler (ışınım termometresi) ve onun değişik tip ve modelleri ulusal enstitülerde ITS tanımlayıcı cihazlar olarak kullanılmıştır.

Osiloskopla kısa zaman aralıkları ölçümü 1952'de Zavelsky tarafından gerçekleştirilmiştir. Kusch, Lyons ve Sharwin'in Sezyum Cs saatleri üzerinde ilk çalışmayı gerçekleştirmelerinin ardından 1954'te Basov, Prochorov ve Townes tarafından NH₃ Maser'in bulunmasıyla, Essen ve Parry 1955'te ilk atomik frekans standardı oluşturmuş, 100 000 yılda 1 saniye sapmayla çalışan atomik saatlerin yapımı gündeme gelmiştir.

1956 yılında Thompson-Lampard teoremine uygun olarak hesaplanabilir Kros-kapasitörün yapılmasıyla kapasitans birimi ve skalası SI birimleri cinsinden oluşturulmuş, direnç birimi ohm kapasitans biriminden türetilmiştir. Ayrıca AC özelliğe sahip dirençler de üretilmiştir. İndüktans birimi ise rezonans teknikleri ve Maxwell-Wien Köprüsü kullanılarak türetilmiştir.

14 Ekim 1960 tarihli, Paris'de gerçekleştirilen CGPM 11. toplantısında, uzunluk (m), Kütle (kg), zaman (s), elektrik akımı (amper), termodinamik sıcaklık (K) ve ışık şiddeti (Candela) birimlerine dayanan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kabul edilmiştir. Daha sonra mol birimi de temel bir birim olarak SI birimlerine dahil edilmiştir.

Uluslararası Atomik Zaman Ölçeği'nin (TAI) oluşturulmasıyla birlikte 1967'den itibaren 1 saniye, "Sezyum¹³³ Cs atomunun temel (6S_{1/2}) enerji seviyesinin, ince seviyeleri olan 6S_{1/2} (F=4,mf=0) ve 6S_{1/2}(F=4,mf=0) arasındaki geçişe karşılık gelen elektromanyetik dalganın 9192631770 kadar periyotluk süresi" olarak bugün hala geçerli tanımına ulaşmıştır.

Ekonomik ve teknik sebeplerle, mevcut Candela tanımının yeterli olmadığı gözlenmesiyle

ulusal laboratuvarların çoğu kandela tanımını değiştirme yolları arayışına başlamıştır. Ekim 1979’da 16.CGPM’ de Candelanın, radyometri temelinde tanımlanmasıyla metroloji laboratuvarlarında fotometrinin ana biriminin çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmesi imkanı oluşmuştur.

20 Ekim 1983 tarihinde 17.Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı’nda metre “Işığın vakum ortamında 1/c (c-ışık hızı) saniyede kat ettiği mesafe” olarak tanımlanmış ve kabul edilmiştir. İkincil standartların oluşturulmasında metrenin ölçme bloklarına transferi halen Köster, Michelson, Twyman-Green interferometreleri gibi çeşitli tip interferometreler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzde hedeflenen olay ise doğrudan frekans standardı ile metrenin tanımlanmasıdır. Bu hedefe fs Comb jeneratörü olarak adlandırılan cihazların yapılmasıyla ulaşılmıştır.

Volt ve Ohm için referans standartlar olarak, 1980’lerden beri belirsizlikleri çok daha düşük olan ‘Josephson (junction)’ ve Quantum Hall (etkileri) kullanılmaktadır.

Bugün geçerli olan Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-90’a göre ise gümüşün donma noktası (962.78°C) üzerindeki sıcaklıklar Planck radyasyon kanunu ile tayin edilir. Radyasyon sıcaklık ölçümleri konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları halen sürmektedir.

Wineland, Dehmelt, Hansch ve Scawlow tarafından Lazer soğutmanın 1975’de ortaya atılmasından sonra 1994’te Lazer soğutmalı sistem olan aşırı kararlı atomik fiskeye olayına dayalı saatler A.Clairon ve C.Salomon tarafından icat edilmiştir.

14 Ekim 1999 tarihinde 38 ülkenin katılımıyla Metroloji Enstitüsüler arasında “Karşılıklı Tanınma Anlaşması” (Mutual Recognition Arrangement) imzalanmıştır. Bu anlaşmayı imzalayan enstitüler birbirlerinin verdikleri hizmetlerle ilgili belgeleri karşılıklı olarak tanımaya karar vermişler. Anlaşmanın düzenlenmesi ile ilgili koordinasyon BIPM tarafından sağlanmıştır. Türkiye adına Karşılıklı tanınma Anlaşması’nı UME imzalamıştır.

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, 1992’den beri çağın gereklerine uygun çalışmalarını sürdürmekte; katıldığı uluslararası çalışmalar ve ölçümlerle uluslararası alandaki yerini belirlemektedir.

1.4 METROLOJİNİN FAALİYET ALANLARI

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

- . • Bilimsel Metroloji
- . • Yasal Metroloji
- . • Endüstriyel Metroloji

1.4.1 Yasal Metroloji

Kamuyu doğrudan ilgilendiren ve ticarete konu olan ölçümlerin denkliğinin ve güvenilirliğinin temini ile ilgili metrolojik faaliyetler yasal metroloji kapsamındadır. Güvenilir ölçüm, özellikle ihtilafa düşüldüğünde veya doğru olmayan ölçümler kişiler veya toplum için karşı risk teşkil ettiğinde önem kazanır. Yasal metroloji, ulusal, bölgesel ve uluslararası düzeyde etkili ticareti sağlayan ölçüm güvenilirliği için temel teşkil eder. Bu nedenle devlet, yasal metroloji düzenlemelerine ihtiyaç duymaktadır.

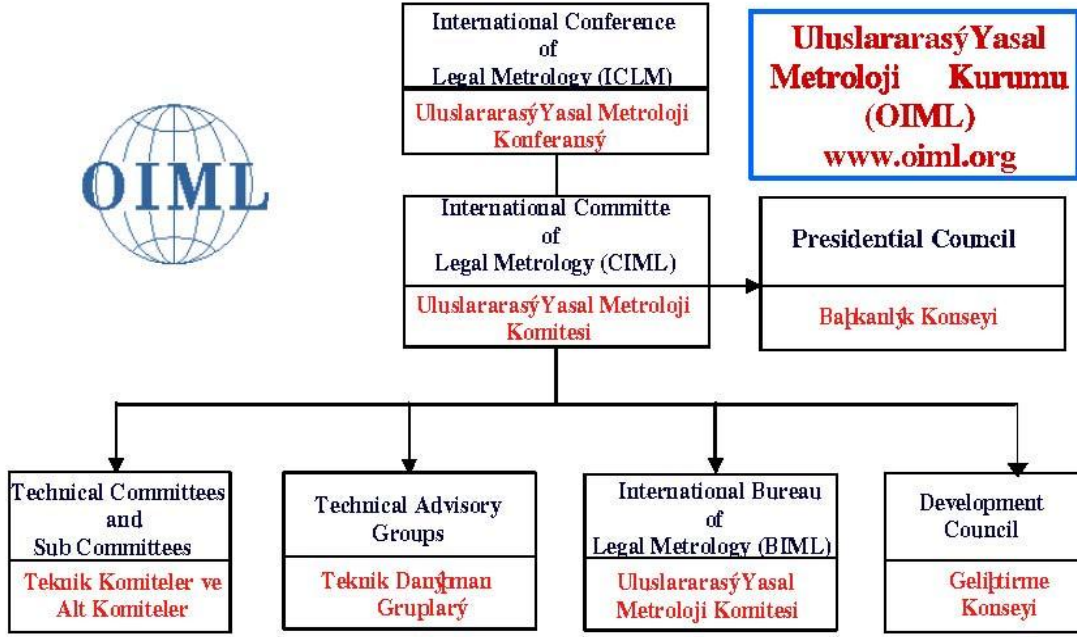
Yasal metroloji, adil ticareti sağlama ihtiyacından doğmuştur. Topluma olan katkılarının en önemlisi, ölçümlerin güvenilirliğini sağlayarak ve işlem maliyetlerini düşürerek ticaret verimliliğinin artışında oynadığı roldür. Devletin, kişileri iş ilişkilerinde koruma sorumluluğu, yasal metroloji uygulamalarının, tarih boyunca ticarete konu olan işlemler üzerinde odaklanmasına sebep olmuştur. Ölçme cihazlarının ve tekniklerinin gelişmesiyle yasal metroloji düzenlemeleri, kişileri doğruluktan yoksun ölçümlerin yaratacağı etkilerden koruma ihtiyacının doğduğu sağlık, güvenlik ve çevre gibi diğer alanlara da genişlemiştir. Çevreyi, toplumun sağlığını ve güvenliğini sağlama ihtiyacı bu alanlarda yasal metrolojinin önemli gelişmeler kaydetmesine yol açmıştır. Yasal metroloji bütün bu ihtiyaçları karşılamaya yönelik faaliyetlerini yasal düzenlemeler ve kanunlar yoluyla yürütmektedir.

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 güvenilirliği tüm toplum için bir gerek şarttır. Bu sistemde yer alan gereksinimlerin uyumlaştırılması, sadece ölçüm güvenilirliğinin temeli olmakla kalmayıp uluslararası ticarete teknik engellerin kaldırılmasında da önemli bir rol oynamaktadır.

Yasal metroloji düzenlemeleri, ulusal metroloji sisteminin içinde yer alan ve bu sistem ile sıkı ilişki içinde olan bir birim tarafından yürütülür. Bazı ülkelerde, yasal metroloji biriminin sorumlulukları ticaret ile ilgili işlemlerle sınırlı olup çevrenin korunması veya güvenliğin sağlanması gibi belirli metrolojik düzenlemelerin diğer kurumlarca yürütülmesinden ibarettir. Ancak, metrolojik kontrol, izlenebilirlik ve ölçüm birimleri için metrolojik koşulların temini tek tip uygulama gereksinimini doğurmaktadır. Çoğu zaman tek çatı altında toplanmış bir yapı, diğer ulusal düzeydeki yasal metroloji kuruluşlarının faaliyetlerinin koordinasyonunda etkili olabilmektedir.

1875’de Metre Konvansiyonu’nun imzalanmasının ardından, ulusal ölçüm standartlarının uluslararası ticaretteki tüm engellerin kaldırılmasında yeterli olmadığı fark edildi. Ölçme aletlerinin performans gereksinimlerinin ve bu aletlerin ulusal standartlara izlenebilirliklerinin uluslararası düzeyde de uyumlaştırılması gerekliliği ortaya çıktı. BIPM’in sorumlulukları daha fazla genişletilmek istenmediğinden, yeni ve bağımsız uluslararası bir kurumun metrolojinin yasal kısmından sorumlu olmasına karar verildi. Böylece, 1937’de Paris’te ilk Uluslararası Pratik ve Yasal Metroloji Konferansı toplandı. 1955 yılında da, ölçme ve ölçü aletleri ile ilgili teknik ve idari konuların çözülmesi, yasal metroloji çalışmalarının koordinasyonu ve ulusal metroloji düzenlemelerinin uyumlaştırılması amacıyla (“Milletlerarası Kanuni Metroloji Teşkilatı Kurulmasını Sağlayıcı Mukavelename” ile) “*Bureau International de Metrologie Legale (OIML)*” adıyla uluslararası bir kamu kurumu olarak kurulmuştur. Merkezi Paris’tedir. OIML’in idari ve teknik işleri, Paris’te kurulu olan merkez sekreteryası BIML (Uluslararası Yasal Metroloji Bürosu -International Bureau of Legal Metrology) tarafından yürütülmektedir.

OIML'nin organizasyon yapısı şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. OIML'nin organizasyon yapısı

OIML'in temel amacı, yasal metroloji düzenlemelerini uluslararası alanda uyumlaştırmak ve ilgili konularda gerekli işbirliğini temin etmektir. Uyumlaştırılmamış ulusal metrolojik düzenlemelerin sonucu olan teknik engellerin kaldırılması OIML'in faaliyetlerini yönlendiren unsurlardan birisidir. Bu alandaki diğer uluslararası ve bölgesel kurumlarla işbirliği ve teknik bilgi alışverişi içinde bulunarak da yasal metrolojinin gereksinimlerinin karşılanmasını sağlamaktadır.

Yasal metroloji, ülkemizde Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Ölçüler ve Standartlar Genel Müdürlüğü (ÖSGM) tarafından yürütülmektedir. Bu görevin, ülke genelinde etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesinin sağlanması amacıyla "Ölçüler ve Ayar Teşkilatının Kuruluşu" adıyla bir proje uygulamaya konulmuş bulunmaktadır. Bu projeye, Ankara'da merkez laboratuvarları, illerde de il laboratuvarlarının kurulması amaçlanmaktadır. Projenin tamamlanmasıyla yasal metroloji alanındaki izlenebilirlik ağı ülke çapında oluşturulmuş olacaktır.

Türkiye, 31.12.1955 tarih ve 4 / 6440 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile OIML'e tam üye olmuş ancak, tam üyeliğin ödemeyi gerekli kıldığı giriş ücreti ve katılma payının yüksek olması nedeniyle 08.12.1961 tarih ve 6 / 15 sayılı kararnameyle asil üyelikle ilgili kararname yürürlükten kaldırılarak söz konusu teşkilata "Muhabir Üye" sıfatıyla üye olunmuştur.

Yasal metroloji alanı çeşitli ülkelerde "**Zorunlu Alan**" olarak adlandırılır, ve bütün ölçüm ve diğer faaliyetler bir kanunla düzenlendiği için uygulanması zorunludur. Ülkemizde yasal metroloji ile ilgili düzenlemelere Ölçüler ve Ayar Kanunu temel oluşturmaktadır. Bu kanunun içeriği şu şekilde özetlenebilir:

1.4.2 Ölçüler ve Ayar Kanunu

11 Ocak 1989 tarihinde kabul edilen 3516 sayılı Ölçüler ve Ayar Kanunu 21 Ocak 1989 tarih ve 20056 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun amacı, ”**milli ekonominin ve ticaretin gereklerine ve kamu yararına uygun olarak Türkiye hudutları içinde her türlü ölçü ve ölçü aletlerinin doğru ayarlı ve uluslararası birimler sistemine uygun olarak imalini ve kullanılmasını sağlamaktır.**”

“Uzunluk, alan, hacim, ağırlık ölçüleri, aerometreler, hububat muayene aletleri, elektrik, su havagazı, doğalgaz, akaryakıt sayaçları, taksimetreler, naklimetreler, akım ve gerilim ölçü transformatörleri ile demiryolu yük ve sarnıçlı vagonlarının muayenesi, ayarlanması ve damgalanması bu Kanun hükümlerine göre yapılır.”

Bu kanun kapsamı dışında bırakılan konular ise şöyle sıralanmaktadır;

- . • Uluslararası birimler sisteminin uygulanmadığı ülkelerle ilgili ve taraflardan biri Türk vatandaşı olmayan ve yurdumuzda oturmeyan şahıslarla yapılmış anlaşma, sözleşme ve düzenlenmiş belgeler,
- . • Yukarıdaki maddede belirlenen ülkelere ticaret eşyası ihracı ile uğraşan müessese ve fabrikalarda özellikle bu işler için kullanılan ölçü ve ölçü aletleri (teknik işler dışında ve ticarete kullanılabilecek nitelikte olanların üzerinde “Alım ve satım işlerinde kullanılamaz” ibaresi bulunmak şartıyla),
- . • 1782 sayılı Ölçüler Kanununun yürürlüğe girdiği 1.1.1933 tarihinden önce düzenlenmiş bulunan tapu, kontrat ve senet gibi kayıt ve belgeler,
- . • Kullanılmayan antika ölçü ve ölçü aletleri,
- . • Öğretim işlerinde, para ve mücevherat yapımında veya taşıdığı özellikler bakımından Sanayi ve Ticaret Bakanlığınca uygun görülecek özel, kişisel veya teknik işlerde kullanılan veya sanayi kuruluşlarında özellikle imalata yarayıp mamullerin miktarını tespitle ilgisi bulunmayan ölçü ve ölçü aletleri (teknik işler dışında ve ticarete kullanılabilecek nitelikte olanların üzerinde “Alım ve satım işlerinde kullanılamaz” ibaresi bulunmak şartıyla),
- . • Münhasıran banyo ve mutfaklarda kullanılmak maksadıyla imal edilmiş bulunan dinamometrik tartı aletleri,

Silahlı Kuvvetlerin donatım ve donanımına ait olup alım satımla ilgisi bulunmayan teknik ölçü ve ölçü aletleri (teknik işler dışında ve ticarete kullanılabilecek nitelikte olanların üzerinde “Alım ve satım işlerinde kullanılamaz” ibaresi bulunmak şartıyla).

Kanun beş temel bölümden oluşmaktadır:

- . • Terimlerin ve birimlerin tanımları ve kullanılması,
- . • Muayene, damgalama ve yasaklar,
- . • Ceza hükümleri,
- . • Mali hükümler,
- . • Çeşitli hükümler

. 1.4.3 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 uluslararası 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 tescili endüstriyel metroloji kapsamı içindedir. Metroloji ve kalibrasyon laboratuvarları bu alanda gerekli izlenebilirlik ve sertifikasyon işlemlerini gerçekleştirmektedirler. Ulusal akreditasyon kurumları tarafından bu laboratuvarların akredite edilmesiyle yapılan işlemlerin hem uluslararası platformda kabul görmesi hem de ülke çapında gerçekleştirilen faaliyetlerin eşdeğerliği sağlanmaktadır.

Türkiye’de endüstriyel metroloji, Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından akredite edilen laboratuvarlar ve diğer ikincil seviye laboratuvar tarafından yürütülmektedir.

Ülkemizde, endüstriyel alanda kullanılan ölçme sistemleri ve ölçü aletlerinin sayısı son yıllarda büyük ölçüde artmıştır. Bunun sonucu yalnızca kalibrasyonsuz, ayarsız veya aşınmış ölçü aletleri kullanmaktan dolayı işletmelerin yıllık ekonomik kayıpları, kalite temini için yapılan yatırımının % 60’ını bulmaktadır ki bu ülke ekonomisi için büyük bir kayıptır. Avrupa Birliği’ne uyum çalışmaları çerçevesinde bir bakıma zorunlu hale gelen ISO 9000 serisi standartların uygulanması ve CE işareti ile ilgili düzenlemeler endüstrimizin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında endüstriyel metrolojinin tüm sektörler için ne kadar büyük önem taşıdığı açıkça görülmektedir.

1.4.4 Bilimsel Metroloji

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

Bilimsel metroloji,

- . • Uluslararası birimler sistemini (SI ve türevleri) oluşturan birimlerin tanımına göre gerçekleştirilerek bilim ve teknolojinin kullanımına sunulması,
- . • Ölçme birimleri ve bunlara ait standartların gerçekleştirilmesi, üretilmesi, devamlılıklarının sürdürülmesi, ülke çapında dağıtılması ve uluslararası ölçme standartlarına izlenebilirliğin sağlanması,
- . • Ölçme metotları, ölçüm performansı, ölçme doğrulukları tayini,
- . • Ölçme cihazlarının geliştirilmesi,
- . • Kullanıcı seviyesinde operatörlerin eğitimi, çalışma standartlarının oluşturulması,

konularını içeren tüm araştırma faaliyetlerini kapsamaktadır. Bilimsel metroloji kapsamındaki çalışmalar “Ulusal Metroloji Enstitüleri” tarafından yürütülmektedir. Bu enstitüler uluslararası alanda bulundukları seviyeyi karşılaştırmalı ölçümlerle belirlemektedirler. Uluslararası düzeyde bilimsel metroloji alanındaki faaliyetlerin koordinasyonu BIPM tarafından sağlanmaktadır.

1.5 SI-BİRİMLER SİSTEMİ

Tüm dillerde "SI" olarak kısaltılmış şekilde gösterilen Uluslararası Birimler Sistemi (Système

International d'Unites) 1960 yılında 11.Ölçü ve Ağırlıklar (CGPM) konferansında kabul edilmiştir. SI-Uluslararası Birimler Sistemi, dünyada yüzyıllarca süren bir çok birim ve birim sistemi kargaşasından sonra metrik sistemin de geliştirilmesi ile Uluslararası Metre Konvansiyonu'na dahil ülkelerin üyeleri tarafından kabul edilmiştir. Türk Hükümeti SI-Birimler Sistemi'ni bir kanunla aynen kabul etmiş ve bu kanun üzerindeki en son değişiklik 7 Aralık 1990 Tarih ve 20718 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanmıştır.

Temel büyüklükler, bu anlaşma ile kabul edilmiş SI-Uluslararası Birimler Sistemindeki 7 temel birimin tanımlarından yola çıkılarak elde edilen büyüklüklerdir.

SI-Uluslararası Birimler Sistemi 7 Temel birim ve bu birimlerden elde edilmiş olan türetilmiş birimlerden ibarettir. Türetilmiş Birimler temel birimlerin çarpımı veya bölümü işlemleri ile elde edilmektedir.

1.5.1 Temel Birimler

Uzunluk : Metre (m)

Metre, ışığın saniyenin $1/299\,792\,458$ kesri zaman aralığında vakum ortamda katettiği yolun uzunluğudur

Kütle : Kilogram (kg)

Uluslar arası kilogram prototipinin kütlesine eşit birimdir.

Termodinamik Sıcaklık Birimi : Kelvin (K)

Termodinamik sıcaklık birimi kelvin suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının $1/273.16$ kesridir.

Zaman : Saniye (s)

Sezyum 133 atomunun taban durumunun iki ince yapı düzeyleri arasındaki geçişe karşılık gelen ışınımın $9\,192\,631\,776$ periyodunun süresidir.

Elektrik Akımı : Amper (A)

Amper sonsuz uzunluktaki ihmal edilebilir dairesel kesiti olan, birbirinden 1 m uzaklıkta yerleştirilmiş iki paralel iletkenin, birbirlerini etkiledikleri metre başına 2×10^{-7} Newton'luk kuvveti üreten sabit akım olarak tanımlanır.

Işık Şiddeti : Kandela (cd)

Steradyan başına $1/683$ watt radyant şiddeti olan 540×10^{12} hertz frekanslı mono-kromatik ışınım yayan bir kaynağın verilen bir yöndeki ışık şiddeti Candela olarak tanımlanır

Madde Miktarı : Mol (mol)

Karbon 12'nin 0.012 kg da atom sayısını içeren madde miktarıdır

Türetilmiş Birimler

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

Türetilmiş Birimlerine Örnekler

Birim kütleyi ivmelendiren etki kuvvet olarak bilinir ve SI Birimler Sisteminde kuvvet birimi Newton, “1 kg’lık kütleye 1 m/s² ivme veren etki” olarak tanımlanır. Newton’un ikinci kanunu “F=m.a” kuvvetin tanımına temel teşkil etmektedir. Burada m kütle a ivmedir. İvme birim zamandaki hızın değişimidir. Hız ise birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır.

Hız=V=yol/zaman=m/s ve ivme=a=hız/zaman= m/s² olduğundan Kuvvet birimi Newton, “N = kg·m/s²” olarak ifade edilir. Temel SI birimleri kütle (kg), uzunluk (m) ve zaman (s) kullanılarak türetilmiş bir birim olarak karşımıza çıkar. Türetilmiş SI birimlerinin herbiri o konudaki fizik yasalarını geliştirmekte öncülük yapmış bir bilim adamının ismini taşırlar

Basınç birimi Pascal birim alana gelen kuvvet olarak tanımlanır. Basınç=Kuvvet/Alan=P =F/A.

Bu tanımdan basınç birimi pascal

Pa=N/m²=(kg m/s²)/m² = kg/ms² olarak temel SI birimlerinden türetilir.

Yoğunluk birim hacim başına kütle olarak tanımlanır birimi kg/m³ tür. Yoğunluk için SI sisteminde özel bir isim tanımlanmamıştır. Standart SI birimlrri her ölçüm için pratik olmayabilir. Örneğin basınç birimi Pa oldukça küçük bir birimdir. Bu durumda genelde 10 ile çarpımlarından oluşan bir sistem kullanılır. Ve bu çarpımlar için olan özel ön ekleme birimin önüne gelir. Bu çarpanları ve ön eklemelerini bir tablo olarak verirsek

:

Çarpan	İsim ve Ön ek
10 ¹²	Tera, T
10 ⁹	Giga, G
10 ⁶	Mega, M
10 ³	Kilo, k
10 ²	Hekto, h
10 ¹	Deka, d
10 ⁻¹	Deci, d

10^{-2}	senti, c
10^{-3}	Mili, m
10^{-6}	Mikro, μ
10^{-9}	Nano, n
10^{-12}	Pico, p

Örneğin $\text{MPa}=10^6 \text{ Pa}$, $\text{KN}=10^3 \text{ N}$ şeklinde direk örnekler kullanılarak ifade edilebilir. Bunların yanında direk SI dönüştürmesi olmamasına rağmen sık kullanılan SI dışı birimlerde mevcuttur. Örneğin basınç birimi olarak $1 \text{ bar}=10^5 \text{ Pa}$ sıkça kullanılır. Bu birimin sık kullanılmasının sebebi 1 bar değerinin atmosfer basıncına yakın olmasıdır.. Atmosfer basıncı $= 1.01325 \text{ bar} = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0.101325 \text{ Mpa}$. Aşağıdaki tablolarda temel SI birimleri ve bazı türetilmiş SI birimlerini bulacaksınız

Ölçülen temel büyüklük	Temel birim adı	Sembol
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
zaman	saniye	s
elektrik akımı	amper	A
termodinamik sıcaklık	kelvin	K
madde miktarı	mol	mol
ışık şiddeti	Kandela	cd
açı	radyan	rad

Ölçülen türetilmiş büyüklük	SI türetilmiş birim	Sembol	SI birimi	SI temel birimi
Frekans	Hertz	Hz		1/s
Kuvvet	newton	N		kg.m/s^2
Basınç	pascal	Pa	N/m^2	$\text{kg/(m.s}^2)$
Enerji,iş,ısı miktarı	joule	J	N.m	$\text{kg m}^2/\text{s}^2$
Güç, ışıma akısı	watt	W	J/s	$\text{kg m}^2/\text{s}^3$
Elektrik miktarı	coulomb	C		s.A
Elektrik potansiyel farkı	Volt	V	W/A	$\text{kg m}^2/(\text{s}^3\text{A})$
Elektrik kapasitans	farad	F	C/V	$\text{s}^4\text{A}^2/(\text{kg.m}^2)$
Elektrik direnci	ohm	Ω	V/A	$\text{kgm}^2/(\text{s}^3\text{A})$
Elektrik geçirgenliği	siemens	S	A/V	$\text{s}^3\text{A}/(\text{kg.m}^2)$
Manyetik akı	weber	Wb	V.S	$\text{kgm}^2/(\text{s}^2\text{A})$
Manyetik endüksiyon	tesla	T	Wb/m^2	$\text{kg}/(\text{s}^2\text{A})$
Manyetik akım yoğunluğu				
endüksiyon	henry	H	Wb/A	$\text{kgm}^2/(\text{s}^2\text{A}^2)$
aydınlatma akısı	lümen	lm	Cd sr	cd
aydınlatma	lüks	lx	lm/m^2	cd/m^2
radyasyon çekirdek aktivitesi	becquerel	Bq		1/s
absorblanan radyasyon	gray	Gy	J/kg	m^2/s^2
absorblanan eşdeğeri spesifik				
radyasyon enerjisi	sievert	Sv	J/kg	m^2/s^2
düzlemsel açı	radyan	rad		$\text{m/m}=1$
üç boyutlu açı	steradyan	sr		$\text{m}^2/\text{m}^2=1$

Ölçülen türetilmiş büyüklük	Türetilmiş birim adı	Sembol
Alan	Metre kare	m^2
hacim	Metre küp	m^3
hız	Metre bölü saniye	m/s
ivme	Metre bölü saniyekare	m/s^2
açısal hız	Radyan bölü saniye	rad/s
açısal ivme	Radyan bölü saniye kare	rad/s^2
yoğunluk	Kilogram bölü metreküp	kg/m^3
manyetik alan yoğunluğu	Amper bölü metre	A/m
Kuvvetin momenti, tork	Newton metre	Nm
Elektrik alan şiddeti	Volt bölü metre	V/m
Geçirgenlik	Henry bölü metre	H/m
Geçirgenlik	Farad bölü metre	F/m
Spesifik ısı kapasitesi	Joule bölü kilogram Kelvin	$J/(kgK)$
Özgül madde miktarı	Mol bölü metreküp	mol/m^3
ışılma	Candil bölü metrekaire	cd/m^2

1.6 KALİBRASYON ,TEST, ANALİZ VE ÖLÇÜM KAVRAMLARI

1.6.1 Kalibrasyon

Kalibrasyon, belirli koşullar altında, bir ölçme cihazı veya bir ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya, bir maddi ölçüt veya bir referans malzemenin verdiği değerler ile ölçüm standartları ile gerçekleştirilen ve bunlara karşılık gelen değerler arasındaki ilişkiyi kuran işlemler dizisi olarak tanımlanır. Bu kavram Türkçe terminolojide nadiren etalonaj olarak da ifade edilir. Başka bir ifadeyle kalibrasyon ölçüm amacıyla kullanılan bir cihaz veya referansın gösterdiği değerle göstermesi gereken değer arasındaki farkın belirlenmesidir.

Kalibrasyon tüm cihazlar için önemlidir ve cihazın, bilinen bir standartla kontrol edilmesi anlamındadır. Kalibrasyon işlemi, belirli bir cihazın birincil standart, ikincil standart veya kalibre edilecek cihazın doğruluğundan daha yüksek doğruluklu bir standart ile karşılaştırılması olayıdır. Örneğin, bir akışmetre ya ulusal metroloji enstitüsünde bulunan akış ölçme sistemi ile, doğrudan sistemden geçip bir tankta biriken belirli miktarda bir suyun ağırlığının ve geçiş zamanının kaydedilmesiyle; ya da bu şekilde kalibre edilmiş olan ve ikincil seviye bir standart olarak kullanılan akışmetre veya doğruluk değeri kalibre edilecek olandan daha iyi ikincil seviye standardı ile kalibre edilmiş bir akışmetre ile kalibre edilir.

Metrolojide kullanılan ve yukarıda açıklanmış olan kalibrasyon terimi, endüstride, cihazın ayarının yapılması anlamını taşıyan işlem ile karıştırılmamalıdır. Metrolojik anlamı ile kalibrasyon, ölçüm standartları ile yapılan karşılaştırma işlemi ve bu karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçların değerlendirilmesi işlemleridir, ayar anlamı içermez.

Bir kalibrasyonun sonucu, ölçülen büyüklüğün değerlerinin göstergedeki karşılıklarının belirlenmesine veya gösterge için yapılacak düzeltmenin belirlenmesine olanak verir. Kalibrasyon sonuçları, kimi zaman kalibrasyon sertifikası kimi zaman da kalibrasyon raporu adı verilen dökümanlara kaydedilir.

Özetle, kalibrasyon işlemleri dizisinde bir ölçme cihazına ait göstergenin, ölçülen büyüklüğün gerçek değerinden sapması belirlenir ve belgelendirilir.

1.6.2 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. Makina, alet ve elektronik cihazların testinde, ürün veya cihazın belirlenen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediği, düzenli çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Ölçüm cihazlarına yönelik yapılan kontrol ve ölçümler kalibrasyona girmektedir. Ölçüm cihazları ile ilgili testler de vardır, fakat bu testler cihazın ölçüm değerlerine yönelik değil fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğine yöneliktir. Örneğin, basınç transdüserlerinin bir standartla, tekrarlanabilirlik, histerisiz, doğrusallık (linearite) gibi karakteristiklerinin belirlenmesi kalibrasyon, belirli bir basınç değerine kadar bozulmadan ve sızdırmadan ölçebilirliğinin kontrolü test işlemine girer.

1.6.3 Analiz; 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.

1.6.4 Ölçüm

Ölçüm, bir büyüklüğün değerinin bulunmasına yönelik işlemler dizisidir. Örneğin, tornada işlenen bir silindirik parçanın çapının belirlenmesi için yapılan işlem ölçümdür

1.7 ÖLÇÜM ESASLARI

Ölçmenin amacı, ölçülecek miktarın büyüklüğünü belirlemektir. Bunu başarmak için büyüklüğün yapısını bilmek gerekir.

Ölçülecek büyüklükler genel olarak iki kısma ayrılabilir;

- 1) Fiziksel büyüklükler
- 2) Fiziksel olmayan büyüklükler

Kuvvet, basınç, uzunluk, kütle ve sıcaklık fiziksel büyüklüklere birer örnektir. Sertlik, yüzey pürüzlülüğü gibi büyüklükler fiziksel olmayan büyüklüklerden olup bunlara endüstriyel büyüklükler de denir. Fiziksel büyüklüklerin temelinde fiziksel kanunlar mevcut olup, temel büyüklüklerden bu kanunlarla türetilmişlerdir. Fakat fiziksel olmayan büyüklüklerin temelinde herhangi bir yasa ve kanun mevcut değildir.

Fiziksel büyüklüklerin ölçüm sonucu, ölçme yöntemine bağlı değildir. Yani ölçme yöntemi ne

olursa olsun sonuç değişmez. Örneğin, bir ölçme bloğu (johnsson mastarı) ölçümünde iki uç arasındaki mesafe, ölçme yöntemi ne olursa olsun standart koşullar altında aynı bulunur. Fakat sertlik ölçümünde uygulanan metoda göre sonuçlar değişir. Rockwell, Brinell, Vicker gibi sertlik ölçme metodlarının her birinde farklı bir birim ve sonuç elde edilir. Bu yüzden fiziksel büyüklükler tüm ölçümlere temel oluştururlar.

1.8 ÖLÇME İŞLEMİ

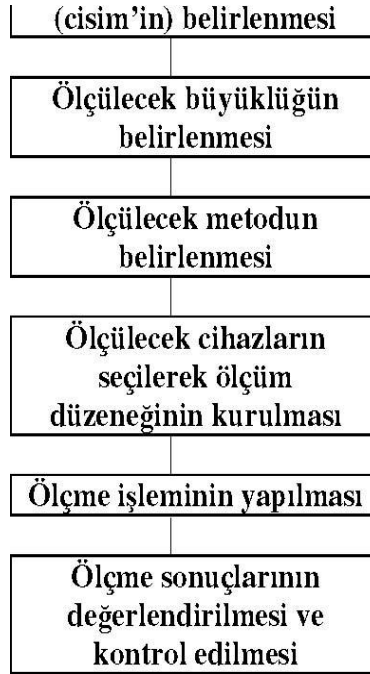
Cisimlerin ifade edilmesinde veya özellikleri hakkında, büyüklük olarak bilgi edinmek istendiğinde, belirli bir büyüklük veya birime göre yapılan işlem, ölçme olarak nitelendirilir.

Ölçmenin amaç veya durumuna göre, tek bir büyüklük kullanılabileceği gibi, iki veya daha fazla büyüklük kullanılarak da aynı işlem yapılabilir. Bu yapılırken, ölçme zamanı, doğruluk derecesi, ölçüm metodu vs göz önünde bulundurulmalıdır.

Örneğin, belirli miktardaki sıvının hacmi ölçeklendirilmiş bir kap ile doğrudan ölçülebileceği gibi; bir terazi yardımı ile tartılarak kütlesi belirlenebilir, yoğunluk değeri de literatürde verilen değerlerden alınıp, hacim = kütle / yoğunluk eşitliğinden hesaplanabilir. Fakat ikinci yöntem daha zaman alıcı olduğu için, doğru bir yöntem olmasına rağmen pratik değildir. Ölçüm sırasındaki aşamalar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Ölçülecek nesne ve ölçülecek büyüklük belirlendikten sonra, ölçüm değerini elde etmek için, ölçüm yöntemi belirlenir. Yukarıdaki örnek için iki metot belirlenmiştir. Bunun gibi ölçme metotları arasında, doğruluk, zaman vs. durumlar gözönünde bulundurularak, seçim yapılır. Metod belirlendikten sonra ölçümde kullanılacak cihaz ve aparatların seçimi yapılır. Cihaz seçiminden sonra ölçme işlemi yapılabilir. Bulunan ölçüm sonuçları son olarak değerlendirilip kontrol edilir.

Ölçülecek nesnenin



Ölçüm Yöntemleri

a) Doğrudan Ölçüm:

Aranan bir büyüklüğün değeri gerçek ölçeklerle mukayese edilerek bulunabiliyor veya ölçme birimine uyarlanmış olarak kalibre edilmiş bir ölçme cihazıyla doğrudan okunabiliyorsa böyle ölçümlere doğrudan ölçüm (direkt ölçme) denir. Örneğin belirli bir uzunluk, cetvel, kumpas veya herhangi bir ölçme aletiyle ölçülüyor ve sonuç skala veya göstergedan doğrudan okunabiliyorsa bu tip ölçme doğrudan ölçmedir. Aynı şekilde, kütle, bir terazi yardımıyla, sıcaklık termometre ile doğrudan ölçülebilir. Her birinin ölçümü için eşdeğer bir referans büyüklük gereklidir ve genellikle mukayese ile doğrudan ölçme yapılır.

b) Dolaylı Ölçüm

Aranan büyüklüğün değeri, doğrudan ölçümlerin sonuçlarına göre dolaylı bir şekilde, aranan büyüklükle belirli kanunlara dayalı olarak bulunabiliyorsa, bu tip ölçümlere dolaylı (indirekt) ölçüm adı verilir.

Dolaylı ölçme yalnızca fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde kullanılabilir. Çünkü fiziksel ve temel büyüklükler arasında belirli fiziksel kanunlar mevcuttur ve dolaylı ölçüm sonucu bu kanunlara göre belirlenir. Örneğin, bir kuvvet ölçümünde, Newton'un 2. kanunu geçerli olup $F = m \cdot a$ veya $F = W = m \cdot g$ formülüne göre dolaylı bir ölçüm ile sonuca varılır. Kütle ve ivmenin ayrı ayrı ölçülmesiyle, karşılık gelen kuvvet hesap yoluyla bulunur. Aynı kanundan faydalanılarak basınç hesaplaması da yapılabilir. Gerçi, kuvvet ve basınç değeri gibi pek çok fiziksel büyüklük için doğrudan ölçme metodu geliştirildiyse de dolaylı ölçme yöntemi kullanılarak da sonuca gidilebilir. Buradan da anlaşılacağı üzere fiziksel olmayan büyüklükler için dolaylı ölçme metodu söz konusu olamaz. Malzemelerin ısı iletim katsayıları, genleşme katsayıları, elastiklik modülü gibi değerlerin belirlenmesi dolaylı ölçmeye güzel örnekler olarak verilebilir.

Ölçüm Çeşitleri

a) Mutlak Ölçüm:

Bir ölçme büyüklüğünün değeri, aynı büyüklük için belirlenmiş olan referansa göre bulunuyorsa buna mutlak ölçüm adı verilir. Aslında mutlak ölçümde de mukayese işlemi vardır, fakat doğrudan ölçüm işlemi uygulanır. Örneğin, ölçme bloklarının ölçülmesinde standart dalga boyu veya interferometre kullanılarak ölçüm değeri bulunursa, bu ölçüm mutlak bir ölçümdür.

Aynı zamanda fizikteki temel sabitler (ışık, hız, elektron kütlesi vs.) doğruluğu çok yüksek bir ölçüm ile ve temel birimlere dayalı olarak belirlenmelidir. Örneğin ışık hızı $C = \lambda v$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada λ dalga boyu v frekans olup, ışık hızı metre ve saniyenin tanımlanmasına bağlıdır. Bu şekilde, fiziksel büyüklüklerin ölçümü, temel büyüklüklerin ölçümüne indirgenerek ifade edilebiliyorsa buna mutlak ölçüm adı verilmektedir.

b) Karşılaştırmalı (Mukayeseli) Ölçüm

Fiziksel büyüklük temel veya türetilmiş aynı çeşit bir referans ile mukayese yapılarak, doğrudan ölçülebiliyorsa buna mukayeseli ölçme adı verilir.

Örneğin ölçme blokları, interferometre yerine, önceden daha hassas bir şekilde kalibre edilmiş, referans bir ölçme bloğu ile ölçülüyorsa bu mukayeseli bir ölçmedir. En basitinden manavdan alınan 1 kilogram elma, referans bir kütleye göre mukayese yapılarak ölçülmektedir. Fakat mukayeseli ölçmenin doğruluğu, mutlak ölçmeye göre daha düşüktür.

Pratik olarak, hassas bir mukayeseli ölçme, mutlak ölçmeden daha az zaman alıcıdır. Fakat doğrulukları mutlak ölçme ile garanti altına alınmalıdır. Mutlak ölçme, endüstriyel ölçümler için pratik olmayıp, ileri derecede metrolojik çalışmalarda referansların elde edilmesinde kullanılır.

Ölçüm Hatası

Matematik problemleri çözerken, fiziksel çevre koşulları, sayı üzerinde etkili olmadığından, bulunan tam değer sonuç olarak kabul edilir. Fakat bir maddeye mekanik veya başka bir yapay işlem uygulandığında, elde edilecek olan sayısal değerler ölçüm sonuçlarıdır ve bu değerler mutlak kabul edilemez. Örneğin, 10 m.'lik bir tahta çubuk testere ile beş parçaya bölündüğünde her parçanın uzunluğu ne kadardır sorusunun cevabı, gayri ihtiyari "2 m." olarak verilir. Bunu bir ilkokul öğrencisine sorulmuş sınav sorusu olarak kabul edersek sonuç doğrudur, fakat bir marangoz bu mantık ile hareket edemez. Orijinal 10 m.'lik parça belli bir toleransa sahiptir ve ayrıca kesme işlemi sırasında da, bir kaç cm.'lik bölüm talaş olup kaybolmuştur. Dolayısıyla parçaların eşit uzunluğa sahip olup olmadığı ancak birbirleriyle karşılaştırılmak suretiyle tespit edilebilir.

Ölçülen bir büyüklük için, 10 m. gibi mutlak değerler verildiğinde bu değerler tahmini olarak kabul edilmelidir. Ölçüm sonuçlarından elde edilen sayılarla yapılan matematiksel işlemler söz konusu olduğunda, ölçüm hataları matematiksel işlemler sonucu elde edilen değerlerden de

kaynaklanabilir ve sonucu etkiler.

Tüm ölçümler beraberinde bir takım hataları içerir. Örnek olarak bir otomobilin hız gösterge sistemini ele alalım. Bu sistemde, şaft dönüşü esnek bir kablo ile yuvarlak bir mknatısın çevrildiği yere taşınır. Burada manyetik alan, bir yaya karşı dönüşü sağlayan mekanik bir plaka içinde oluşturulur. Bu plakanın dönmesi sonucu hız, metre/saat olarak ifade edilir. Böyle bir sistemde, lastiklerin boyutları ve kaydırması, manyetik alanın ve plakanın etkinliği, yayın eskiliği veya uyumsuzluğu, hareketli parçalar arası sürtünme, oluşabilecek olası hataların kaynaklarından birkaçıdır.

Ölçüm hatası olmayan bir ölçüm şimdiye kadar yapılmamıştır. Bu durumda ölçüm hatası tanımlanmalıdır. Ölçüm hatası, ölçüm sonucundan, ölçülen büyüklüğe ait gerçek değerin çıkartılmasıyla elde edilen gerçek değerdir. Gerçek değer, ele alınan belirli bir büyüklüğün tanımına karşılık gelen ve ancak ideal bir ölçüm ile elde edilecek bir değerdir. Gerçek değerler yapıları gereği belirlenemeyeceğinden, uygulamada konvansiyonel gerçek değer kullanılır. Konvansiyonel gerçek değer, belirli bir büyüklüğe verilen ve ele alınan amaç için uygun bir belirsizliğe sahip olduğu bazen bir konvansiyonla kabul edilen değerdir. Örneğin, belirli bir mahalde, referans standart tarafından gerçekleştirilen büyüklüğe verilen değer, veya CODATA (1986) tarafından Avagadro sabiti için önerilen değer $NA : 6.0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ konvansiyonel gerçek değer olarak alınabilir.

Ölçüm hatası, birinci derecede, ölçme cihazının çözünürlüğü ile sınırlıdır. Çözünürlük, bir gösterge elemanının, gösterge değerleri arasındaki anlamlı olarak algılanabilir en küçük fark olarak tanımlanır. Ölçüm sonucunda, şans eseri olarak bile, mutlak değere ulaşma olasılığı oldukça düşüktür. Öyleyse amaç, ölçüm hatalarının tümünü elimine etmek veya ortadan kaldırmak değil, ölçümün yapılma amacına yönelik olarak, kabul edilebilir en düşük seviyeye ulaşmasını sağlamaktır. Bu amaca ulaşabilmek için, ölçüm hatalarının kaynağı ve tipi hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekmektedir.

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.

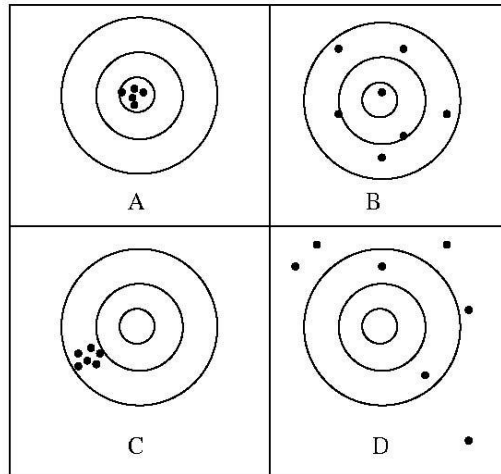
Doğruluk nitel bir kavram olduğundan sayısal olarak ifade edilmemelidir. Doğruluk kavramı ifade edilirken, doğruluğu yeterli düzeyde, yüksek doğruluk veya düşük doğruluk gibi terimler kullanılmalı, doğruluk seviyesinin rakamlar kullanılarak verilmesinden kaçınılmalıdır. Doğruluğu ifade etmenin en iyi 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 ölçümlerden elde edilecek sonuçların bu sınır değerlerin dışına çıkmayacağıdır. $\pm 0.05 \%$ değeri ölçüm hatasının sınırlarını belirlediğinden, doğruluk değeri olarak değil, hata değeri olarak kabul edilmelidir. Doğruluk arttıkça ölçüm hatası düşeceğinden, $\pm 0.05 \%$ hataya sahip bir ölçüm, hatası $\pm 0.03 \%$ olan bir ölçümden daha düşük doğruluğa sahiptir.

Ölçüm doğruluğunun ifade edilmesiyle ilgili bir diğer sorun da, “kesinlik (precision)” kelimesinin “doğruluk (accuracy)” yerine kullanılmasıdır. Bu iki terim birbirinden belirgin şekilde farklıdır ve bu farklılığın tam olarak anlaşılması gerekir. Eğer bir ölçüm sonucu doğruluğa sahip ise, “eğilimi olmayan kesinlik (unbiased precision)”e sahip demektir. Doğruluk, ölçüm değerinin, gerçek değere yakınlığını veya uygunluğunu ifade ederken, kesinlik ise bir grup ölçüm veya cihaz içinde uyuşma veya anlaşma derecesini ifade etmektedir. Kesinlik, doğruluk için gerek şarttır ancak yeter şart değildir. Başka bir deyişle, okuma değerinin doğruluğu, kesinliği ile garanti edilemez.

Kesinlik (precision), sistemin tekrarlanabilirliğinin bir ölçüsüdür. **Tekrarlanabilirlik**, aynı ölçüm koşulları altında (aynı ölçüm prosedürü, aynı gözlemci, aynı koşullar altında kullanılan 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. Teknik olmayan yazı dilinde, iki ölçümün kıyaslanması veya ölçüm/cihaz hakkında bilgi verilmesi durumunda, karşılaştırma sıfatları ile daha yüksek kesinlik, düşük kesinlik gibi tamlamalar kullanılarak anlatıma imkan verir. Eğer bir sistemin tekrarlanabilirliği yüksekse, okuma değerlerinin yoğun bir şekilde gruplanmış olduğu ve sonuçların “düşük yayılımı” sahip olduğu söylenebilir. Düşük yayılım yüksek kesinliği gösterir.

Eğilim (bias) ise, ölçme cihazı göstergesinin sistematik hatasıdır ve ulaşılmak istenen değerden veya hedeften sapmayı gösterir. Sistemin ofsetidir.

Eşit beceriye sahip dört kişinin hedef tahtasına atış yaptığını, bu atıcılardan A ve B’nin nammlarının hedefe doğru iyi ayarlandığını, C ve D’nin nammlu ayarının ise o kadar iyi olmadığını, ve neticede, aşağıdaki şekilde gösterilen sonuçların alındığını düşünelim.



A’nın yaptığı tüm atışlar hedefi bulmuştur, dolayısıyla sistematik hata yoktur. Tüm noktalar yoğun bir şekilde bir araya toplanmıştır dolayısıyla kesinliğe sahiptir. B’nin atışları hedef etrafına yayılmış ve bir çoğu hedefi bulamamıştır. Noktalar oldukça dağınıktır. Dolayısıyla, sistematik hata olduğu gibi kesinlik de yoktur. C’nin atışları en az A’ninkiler kadar kesinliğe sahip olmasına rağmen hedefin yakınlarında bir yerde gruplanmıştır ancak hedefi tutturamamıştır. D’nin atışlarını gösteren noktalar ise, hem hedeften oldukça uzak hem de dağınık şekilde yerleşmiştir.

Atışlar sonunda elde edilen bu dört sonuç içinde sadece A'da hem doğruluk hem de tekrarlanabilirliğin varlığı söz konusudur. C'de tekrarlanabilirlik vardır, fakat doğruluk çok düşüktür. D'nin ise hem tekrarlanabilirliği hem de doğruluğu çok düşüktür.

Bir ölçümün kesinliği, ekipman ve ölçüm tekniğinin fonksiyonudur. Bir ölçümde, sistematik hatanın giderilmesi gözlemcinin müdahalesini gerektirir. Sistematik hatanın belirlenmesi ve düzeltilmesi ancak düşünme ve karar aşamalarından geçtikten sonra gerçekleştirilebilir; hiç bir ekipman bunu kendi başına gerçekleştirme yeteneğine sahip değildir. Dolayısıyla sistematik hata ancak ölçümü gerçekleştiren gözlemci tarafından giderilebilir.

Voltmetre, basınç ölçer gibi doğrudan okumalı bir cihazla mekanik sıfırlama yapılmadan ölçüm yapıldığını düşünelim. Sıfırlamadan kaynaklanan sistematik hatadan dolayı cihaz, ya sürekli yüksek ya da sürekli düşük değerler okuyacaktır. Bu durumda cihaz yüksek kesinliğe sahip olmasına rağmen, sistematik hatasının önüne geçememektedir. Bu durum ancak gözlemci

Ölçüm Belirsizliği

Ölçüm belirsizliği, ölçüm sonucu ile beraber yer alan ve ölçülen büyüklüğe, gerçek değerinin içinde bulunduğu değerler aralığına karşılık gelebilecek değerlerin dağılımını karakterize eden parametredir. Bu parametre, örneğin, standart sapma (veya onun belli katları) veya belirli bir güvenilirlik seviyesine sahip olan aralığın yarı genişliği olabilir.

Ölçüm belirsizliği, genel olarak bir çok bileşeni içerir. Sistematik etkilerden kaynaklananlar da dahil olmak üzere, düzeltmeler ve referans standartlar, ölçme cihazı ve ölçülen standartlarla 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 anlaşılabileceği gibi, ölçüm sonucu ölçülen büyüklüğün değerinin en iyi tahminidir.

Ölçüm Belirsizliğinin İstatistiksel İfadesi

Ölçüm hatası, genel olarak, sistematik hata ile rasgele hatanın birleşiminden oluşur. Bir çok durumda sistematik ve rasgele hataları birbirinden ayırmak çok zordur.

Sistematik hata, ölçülen bir büyüklük için, tekrarlanabilirlik koşulları altında sonsuz sayıda ölçüm yapıldığında, bu ölçüm sonuçlarının ortalamasının gerçek değerinden farkıdır. Bu hataların kaynakları tam olarak bilinmeyebilir fakat dikkatli bir ölçüm uzmanı tarafından bunların bir çoğu elimine edilebilir.

Sistematik hata bazen teorik hesaplamalarla bulunabilir. Örneğin, bir ortamın sıcaklık ölçümünde, ısı transferi ve termodinamik kanunlara dayanarak ısı kaybı ve/veya ısı üretimi hesaplanır ve ölçülen sıcaklık ile hesaplanan sıcaklık karşılaştırılarak sistematik hata belirlenir. Fakat bu hesaplamaların yapılması her zaman mümkün olmadığı gibi, bazı etkenler hesaba

katılmamış da olabilir.

Rasgele hata, tekrarlanabilirlik koşulları altında aynı ölçüm sonsuz sayıda yapıldığında, her bir ölçüm değerinin sonsuz sayıdaki ölçümün ortalamasından sapmasıdır ve belirli bir istatistiksel dağılım gösterir. Sürtünme etkileri, cihazın elektronik dalgalanmaları, ölçüm yapan kişi ve benzeri nedenlerden kaynaklanan rasgele hataları karakterize etmek için kesinlik (precision) terimi kullanılmaktadır. Ölçüm hataları, genel olarak belirsizlikle ifade edilir. Ölçüm güvenilirliğinin sağlanabilmesi için ölçme cihazı, kendisinden daha yüksek doğruluğa sahip bir standart ile kalibre edilmelidir. Kalibrasyonla ölçümün belirsizliğini tespit edilir.

İzlenebilirlik

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.

Üretimin ve kalite kontrolünün en önemli unsurlarından birisi olan ölçüm güvenilirliğinin sağlanabilmesi için kullanılan cihazların kalibre edilmesi, yani cihazın yaptığı ölçümlerdeki hatanın kendisinden daha yüksek doğruluğa sahip bir başka cihaz ile belirlenmesi gerekir. Kalibrasyon işleminin gerçekleştirildiği cihazların yaptığı ölçümlerin de güvenilirliğinin sağlanması için bu cihazların kendileri de kalibre edilmelidir. Bu şekilde, BIPM (Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Bürosu) ile ilişkide bulunan, Ulusal Standartları oluşturmak, muhafaza etmek ve bu standartlar ile bir alt seviye laboratuvarlarda kullanılan ölçme standart ve cihazlarını kalibre etmekle görevli ulusal merkezlerden, üretim, kalite kontrol, bilimsel, askeri ve ticari amaçla kullanılan çeşitli ölçme cihazlarına kadar kademeli olarak devam eden bir zincir oluşur. Her alt seviye laboratuvar kendi çalışma standartlarını bir üst seviye laboratuvara kalibre ettirir ve doğruluğunun en hassas laboratuvarlara izlenebilir olması sağlanır. Bu şekilde oluşan, karşılaştırmalı ölçümlerin kesintisiz zincirine “İzlenebilirlik Zinciri” adı verilir. Bu zincir vasıtası ile yapılan her ölçüm, BIPM tarafından tanımları yapılmış yedi temel ölçüm birimine bağlanır.

Laboratuvar bazında izlenebilirliğin sağlanamadığı durumlarda, ölçme alet ve cihazları veya çalışma standartları kalibre edilerek, cihaz bazında izlenebilirlik sağlanır.

İzlenebilirliğin Sağlanması

İzlenebilir kalibrasyonlar ulusal ölçüm sistemi yapısı altında gerçekleştirilir. Dünyanın farklı ülkelerindeki ulusal ölçüm sistemlerinin ortak bir fiziksel esasları vardır ve bu esaslar ulusal birimler sistemine (SI, international system of Units) dayanmaktadır. Bir ulusal ölçüm sisteminde SI birimlerine dayalı ulusal standartları muhafaza etmekle ve izlenebilirliğin kesintisiz bir şekilde sağlanmasından sorumlu ulusal bir laboratuvar mevcuttur. Türkiye’de bu görevi Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) üstlenmiştir.

Her ölçüm biriminin bir tanımı, gerçekleştirilmesi ve temsil edilmesi söz konusudur. Tanım; ulaşılmak istenen amaçtır ve genellikle SI birimlerinin bir elemanıdır. Gerçekleştirme; sonucu

tanıma oldukça yakın olan bir deneydir. Deney, daha çok ulusal laboratuvar tarafından gerçekleştirilir. Zaman ve para açısından oldukça pahalı bir çalışmadır. Gerçekleştirme sağlandığında ulusal laboratuvar bu değeri, birimin temsilcisi olarak saklar. Bu temsilci diğer temsilcilerle karşılaştırılmak üzere, ulusal laboratuvarı primer standart olarak muhafaza edilir.

Her ülke her bir büyüklük için, ya ulusal standartları laboratuvarı bulundurur, ya da başka bir ülkenin ulusal laboratuvarlarını kullanır. Çalışma standartları yerel laboratuvarlardan gelen standartların kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Yerel laboratuvarlar, yerel standartları muhafaza ederler ve referans standartlar aracılığıyla, ilgili büyüklüğü ulusal laboratuvarlardan yerel laboratuvarlara transfer ederler. Transfer standartlarının ulusal standartlarla karşılaştırılabilirlikleri için fiziksel olarak ulusal laboratuvarlara taşınabilir olmaları gerekmektedir.

Ulusal standartların zaman içindeki davranışları yapılan çok sayıda ölçümle belirlendiğinden, bu standartların kararlılıkları ve belirsizlikleri kanıtlanmış ve kabul edilmiştir.

İzlenebilirlik zincirini, ulusal bir otorite tarafından muhafaza edilen uluslararası karşılaştırma standartları tamamlar.

Kalibrasyon ve İzlenebilirliğin Gereği

Giderek artan ulusal ve uluslararası iş bölümü ve bununla bağlantılı olarak ara mamullerin, son ürünü oluşturacak şekilde farklı yerlerde üretilip bir merkezde bütünleştirilmesi; kuruluşlarda, ölçme ve kontrol ekipmanları ölçme standartlarının, kalibrasyonla ulusal standartlara izlenebilirliklerinin sağlanması gereğini ortaya koymuştur.

Mamul üreten ile bu ürünü kullanan ve diğer parçalarla birleştiren kuruluşlar mutlaka aynı ölçüyü kullanmak zorundadır.

TÜRKAK kanalıyla standartların bilimsel, teknik, endüstriyel ve yasal ölçümlerinin kademeli olarak iletimi, kalite temininin ve korunmasının başlangıcı ve geliştirilmesi için vazgeçilmez bir öğedir. Bu şekilde orta -uzun vadede Türkiye'deki ürün ve hizmetlerin kalitesinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Kalite temininin gerekleri uluslararası ISO 9000 serisi ve eşdeğeri EN 29000 serisi standartlarında belirtilmiştir. Bu standartlar kalite teminatının en önemli bileşenlerinden "ölçme ve kontrol ekipmanlarının kontrolü"nu da içermektedir.

Ölçme ve kontrol ekipmanlarının kontrolü sayesinde, tüm üretim esnasında yapılan ölçümlerin doğruluğu teminat altına alınmış olur. Bunun için bu tip ekipmanların düzenli olarak kalibre edilmeleri ve ulusal standartlara izlenebilirliğinin korunması gerekir.

ISO 9000'de Kalibrasyon

En çok bilinen kalite güvence sistemi ISO 9000 serisi standartlar, sürekli iyileştirmeleri ve sağlıklı geri besleme mekanizmalarının kurulmasını öngörmektedir. Bu durumda, sistemin bir bütün olarak ele alınması, farklı yerlerde üretilen parçaların belirli standartlara uyması ve dolayısıyla üretimin belli bir ölçü birliği içerisinde yapılması zorunluluğu doğmuştur. Böylesi bir sistem içerisinde kalite güvencesinden söz edebilmek için yapılan ölçümlerin doğruluğunun ve güvenilirliğinin temin edilmiş olması gerekmektedir. Ölçüm güvenilirliğinin ve doğruluğunun sağlanması kesintisiz bir izlenebilirlik zinciri ile gerçekleştirilen kalibrasyonlarla mümkündür. Dolayısıyla kalibrasyon, ISO 9000 serisi standartların gereği olarak kabul edilmişlerdir.

ISO 9000 normlarına göre, test ve ölçme cihazlarının ulusal ölçme standartlarına izlenebilir kalibrasyonları gerçekleştirilmeli, doğruluk ve hassasiyetleri belirlenmelidir. ISO 9000, gerçekleştirilen test ve ölçümlerin diğerlerince tanınmasını sağlayarak tekrarlamaların önlenmesini de amaçlamaktadır. Dolayısıyla, tanınmanın sağlanması için gerekli yapının oluşturulması açısından, test ve belgelendirme kurumları ve laboratuvarların EN 45000 serisi standartların kriterlerine uymalarını öngörür. Yapılan test ve ölçümlerin güvenilebilirliğinin sağlanabilmesi açısından ve EN 45000 serisinin gereği olarak test ve ölçme cihazlarının kalibrasyonu şarttır. İzlenebilir bir kalibrasyon zinciri dahilinde kalibreli cihaz ve aletlerle yapılan ölçümler, ulusal standartlara izlenebilirliklerinin sağlanması ile güvenilirliği temin etmiş olacaklardır.

ISO 9000 Kalite güvencesi modelinin yaygın bir şekilde uygulanmaya başlamasıyla, metrolojide hali hazırda var olan izlenebilirlik ISO 9000 uygulamaları kapsamına adapte edilmiştir. Ulusal standartlarla başlayan hiyerarsi transfer standartları ile alt seviye laboratuvarlara kademeli bir şekilde taşınarak kalibrasyonun son basamağı olan işyeri kalibrasyonuna (Works Calibration) kadar uzanmıştır.

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. Bu standartların doğruluğundan UME sorumludur.

Referans Standardı

TKS laboratuvarı ve diğer firmaların ölçüm yerlerinde bulundurulmuş ve buralarda yapılan ölçümler için referans teşkil eden yüksek doğruluklu standarttır.

Transfer Standardı

Referans standartlarla kalibre edilmiş ve değeri firma veya kuruluş içerisinde alt seviye çalışma standartları için referans teşkil eden standarttır.

Çalışma Standardı Referans standartlar veya transfer standardı ile uygun ölçme cihazlarıyla kalibrasyonu yapılmış, sıklıkla kalibrasyon ve kontrol işlerinde kullanılan, nispeten daha düşük doğruluklu standarttır.

Standardlarda Belirsizlik

Her standardın ölçüm değerinde bir belirsizlik vardır. Kalibrasyon hiyerarşisinde daha üstte bulunan standardın belirsizliği daha küçüktür (kendi altında bulunan standardın en az üçte biri kadar). Hiyerarşide aşağıya doğru inildikçe ölçüm güvenilirliği azalır ve belirsizlik büyür.

BIPM VE ULUSLARARASI METROLOJİ SİSTEMİ

Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Bürosu BIPM (International Bureau of Weights and Measures), 20 Mayıs 1875’de diplomatik bir anlaşma olan Metre Konvansiyonu’nun imzalanmasının ardından ve burada alınan kararlar doğrultusunda kurulmuştur. Konvansiyonu imzalayan ülkeler tarafından desteklenen bilimsel bir kurum olan BIPM, metrik sistemin beşiği Fransa’nın Paris kentinde bulunmaktadır.

Diplomatik bir konferans olan Genel Ölçü ve Ağırlıklar Konferansı CGPM (General Conference on Weights and Measures) ve bilimadamları komitesi olan Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Konferansı CIPM (International Committee for Weights and Measures)’in otoritesi altındaki BIPM’in temel hedefi metrik sistemin uluslararası birliğini ve gelişimini sağlamaktır. BIPM, yeni metrik standartları oluşturmak, uluslararası prototipleri muhafaza etmek ve dünyadaki ölçümlerin birliğini sağlamak için gerekli karşılaştırmalı ölçümleri organize etmek ve yürütmekle yükümlüdür.

Metre Konvansiyonu’na bağlı olarak oluşturulan bu kurumların birbirleri ile ilişkileri ve görevleri şekilde gösterilmiştir. (ğekil, “Uluslararası Metroloji Sistemi”)

Metre Konvansiyonu üyesi ülkelerin delegelerinin katıldığı hükümetlerarası bir konferans olan Genel Ölçü ve Ağırlıklar Konferansı CGPM, BIPM’in yönetiminden sorumlu en yüksek otoritedir. Dört yılda bir toplanan CGPM’in temel amaçları;

- Metrik sistemin geliştirilmiş hali olan Uluslararası Birimler Sisteminin (SI) üretilmesini ve geliştirilmesi sağlamak için gerekli ölçümleri belirlemek ve başlatmak,
- Yeni temel metrolojik belirlemelerin sonuçlarını onaylamak ve uluslararası öneme sahip çeşitli bilimsel çözümleri benimsemek,
- BIPM’in gelişimini ve organizasyonunu ilgilendiren önemli kararları benimsemek.

Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Komitesi CIPM, CGPM’in kararlarını hazırlamak ve uygulamakla görevlendirilmiştir. BIPM’in çalışmalarını ve Metre Konvansiyonu ile ilgili işleri doğrudan gözetip denetlemekte ve faaliyetlerini yönetmektedir. CGPM tarafından seçilen 18 kişiden oluşur. Farklı milletlerden olan bu bilimadamları ve metrologlar CIPM’de tam zamanlı olarak çalışırlar ve hiç bir şekilde ülkelerinin resmi temsilcileri olamazlar.

Yılda bir kez gerçekleştirilen CIPM toplantılarına ve idari toplantılarına BIPM Başkanı gözlemci olarak katılır.

CGPM ve CIPM’e ait kararları uygulayan BIPM, bilimsel buluşların gelişimini, endüstriyel teknoloji ve uluslararası karşılaştırmalı ölçümleri birbirine bağlayan bilimsel metrolojinin

dünyadaki merkezi ve laboratuvarlarıdır.

BIPM'in temel görevleri;

- . • Temel fiziksel büyüklükleri tanımlayan standartları ve bu standartlara ait ölçekleri oluşturmak ve uluslararası prototipleri muhafaza etmek,
- . • Uluslararası ve ulusal karşılaştırmaların yapılmasını sağlamak,
- . • İlgili ölçüm tekniklerinin koordinasyonunu temin etmek,
- . • Temel fiziksel katsayılarının bağıl belirlemelerini temin ve koordine etmek.

1875'den beri Metre Konvansiyonu'na bağlı organlar değişmemiştir. Ancak, metroloji ile ilgili bilimsel soruların karmaşıklığının artması sebebiyle CIPM 1927'den beri bir çok teknik komiteler kurmaktadır. Bu komiteler, kendi uzmanlık alanlarında CIPM'e danışmanlık yapmaktadırlar. BIPM'in çalışmalarını yönlendirir, ulusal metroloji laboratuvarlarının çalışmalarının koordinasyonu ve uluslararası girişimlerin tanıtımını ve organizasyonunu yapmaktadırlar. Ulusal laboratuvarların temsilcileri ve uzmanlarından oluşan bu komitelerin her biri CIPM mensubu bir üye tarafından yönetilmektedir. Bu komitelerden bir kaç şöyle sıralanabilir; Elektrik, fotometre ve radyometre, termometri, metrenin tanımı, saniyenin tanımı, birimler teknik komiteleri.

Belli bir metroloji alanına özgü araştırma ve ölçümlerde en iyi laboratuvarların bazı temsilcilerinin oluşturduğu çalışma grupları teknik komite çalışmalarını desteklemektedirler.

ULUSAL METROLOJİ SİSTEMİ Ulusal Metroloji Sistemi ve kalibrasyon hiyerarşisinin adımları şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistemdeki en önemli kurumlar şunlardır :

- . • Türkiye Akreditasyon Konseyi (TÜRKAK)
- . • Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)
- . • Yasal Metroloji ile ilgili Sanayi Bakanlığı Ölçüler ve Standartlar Genel Müdürlüğü (ÖSGM)

ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ

Endüstrileşmiş ülkelerde yapılan ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu, ülke çapında oluşturulan bir kalibrasyon ağı ile gerçekleştirilir. Bu ağın oluşturulması ve uluslararası sisteme entegre olabilmesi için kurulan metroloji sistemleri, ülkelerin teknolojik kalkınmalarında bir alt yapı niteliği taşır. Bu alt yapının en üst noktası da ülkedeki her türlü bilimsel ve endüstriyel ölçümlerin izlenebilir olduğu ulusal bir merkezdir. Bu merkezlerin önemli görevlerinden birisi de ulusal kalibrasyon ağı kapsamında kuruluş ve laboratuvarlar arasındaki koordinasyonu sağlamak ve bu şekilde oluşturulan ulusal metroloji sistemini uygun bir şekilde uluslararası sisteme entegre etmektir.

Bir ulusal metroloji merkezinin görevi, bir yanda uzunluk, kütle, zaman, sıcaklık, elektrik akımı, ışık şiddeti, madde miktarına ait temel ve bunlardan türetilmiş birimleri tanımlarına göre gerçekleştirmek ve bunları ülke çapında alt seviye laboratuvarlara aktarmak, diğer bir yandan da ülke içindeki ölçme sisteminin uluslararası normlarda çalışmasını sağlamaktır. Bu konuda ülkemizde ilk ciddi çalışmalar 1985 yılında TÜBİTAK'ta küçük bir metroloji

merkezinin kurulmasıyla başlamıştır. Dış destekli projelerle bugünkü binası ve gelişmiş laboratuvarlarına kavuşan merkez kısa zamanda çok mesafe katederek metroloji alanında Ulusal Enstitü statüsünü kazanmıştır.

2. ÖLÇÜM HATASI VE BELİRSİZLİĞİ VE HESAPLANMASI

Tüm test ölçümleri alınan verinin belli kararların verilmesi eyleminde faydalı olması amacıyla yapılır. Eğer yapmak istediğimiz eylem test yapılmadan önce kararlaştırılmışsa herhangi bir test veya ölçüm yapmanın bir anlamı yoktur. Bir verinin yararlı olması için ölçüm sırasında oluşan hatanın değerlendirmeyi etkilemeyecek kadar küçük olması şarttır. Mutlak anlamda hatanın ölçülmesi imkân dâhilinde değildir. Bu bölümde hatanın boyutları ile ilgili yaklaşımların nasıl yapılabileceğini detaylı olarak inceleyeceğiz. Hata

Hata=(ölçülen büyüklük)-(gerçek-mutlak büyüklük)

Formülünden bulunabilir, ancak yukarıda da belirttiğimiz gibi gerçek mutlak büyüklüğü tam olarak saptayamıyoruz, bu yüzden de bazı istatistik değerlendirme yöntemleri yardımıyla bu değerlere ulaşmaya çalışabiliriz. Bu kavrama iki tanımla başlayalım. Birinci tanımımız ortalama değer, ikinci tanımımız standart sapma tanımı olacaktır. Belli bir değeri saptamak için giriş veya ölçüm değerlerimizi X olarak belirtirsek ve toplam değerlerimizin sayısı istatistiksel olarak anlam ifade edecek fazlalıkta ise (örneğin yazı tura atımında yazıların sayısı turların sayısına eşit olacak fazlalığa erişene kadar yazı tura attığımızda)

$$\text{Ortalama değer : } \mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.1)$$

Formülüyle saptanabilir. Burada μ ortalama değerdir, n toplam veri sayısıdır. Günlük dille formülü ifade edecek olursak tüm verilerin toplamını toplam veri sayısına böldüğümüzü söyleyebiliriz. Standart sapma ise :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n}} \quad (2.2) \text{ Formülüyle saptanabilir. . Günlük dille formülü ifade edecek}$$

olursak verinin ortalama değerle farklarının kareleri toplanıp toplam veri sayısına bölündükten sonra kare kökünün alınması işlemidir. Karelerin alınmasının temel sebebi ortalamadan artı ve eksi yönde uzaklaşan verilerin etkilerinin birbirini götürmesini engellemektir. Son alınan kare kökü de mutlak değer gerçeğiyle aynı skalada olmasını sağlamaktır. Standart sapma sapmanın ortalama değerini veren bir yaklaşımdır. Eğer aynı veri birden fazla sayıda kendini tekrarlıyorsa

$$\text{ortalama değer : } \mu = \frac{\sum_{i=1}^n F_i X_i}{n} \quad (2.3)$$

$$\text{standart sapma : } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_i (X_i - \mu)^2}{n}} \quad (2.4)$$

formülü ile verilebilir. Burada F_i kendini tekrarlayan veri veya ölçüm sayısının frekansıdır. Bir örnekle bu kavramı açalım. Bir master bloğu 166 kez ölçülmüş ve Tablo 2.1 de görülen

sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2.1 166 adet ölçümden bulunan sonuçlar

ölçüm mm, x	frekans, F	F*x	x-xort	(x-xort)^2	F*(x-xort)^2
6,001	1	6,001	-0,00495181	2,452E-05	2,452E-05
6,002	3	18,006	-0,00395181	1,562E-05	4,685E-05
6,003	8	48,024	-0,00295181	8,713E-06	6,9705E-05
6,004	15	90,06	-0,00195181	3,81E-06	5,7143E-05
6,005	35	210,175	-0,00095181	9,059E-07	3,1708E-05
6,006	42	252,252	4,81928E-05	2,323E-09	9,7547E-08
6,007	36	216,252	0,001048193	1,099E-06	3,9553E-05
6,008	18	108,144	0,002048193	4,195E-06	7,5512E-05
6,009	6	36,054	0,003048193	9,291E-06	5,5749E-05
6,01	2	12,02	0,004048193	1,639E-05	3,2776E-05
	166	996,988			0,00043361
6,005951807					
					0,00161621

Bu tablodan verilen değerler için ortalama değer olarak :

$\mu = 996988/166 = 6.005951807$ değeri elde edilir

Standart sapma için de

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.00043361}{166}} = 0.00161621 \text{ değeri elde edilir.}$$

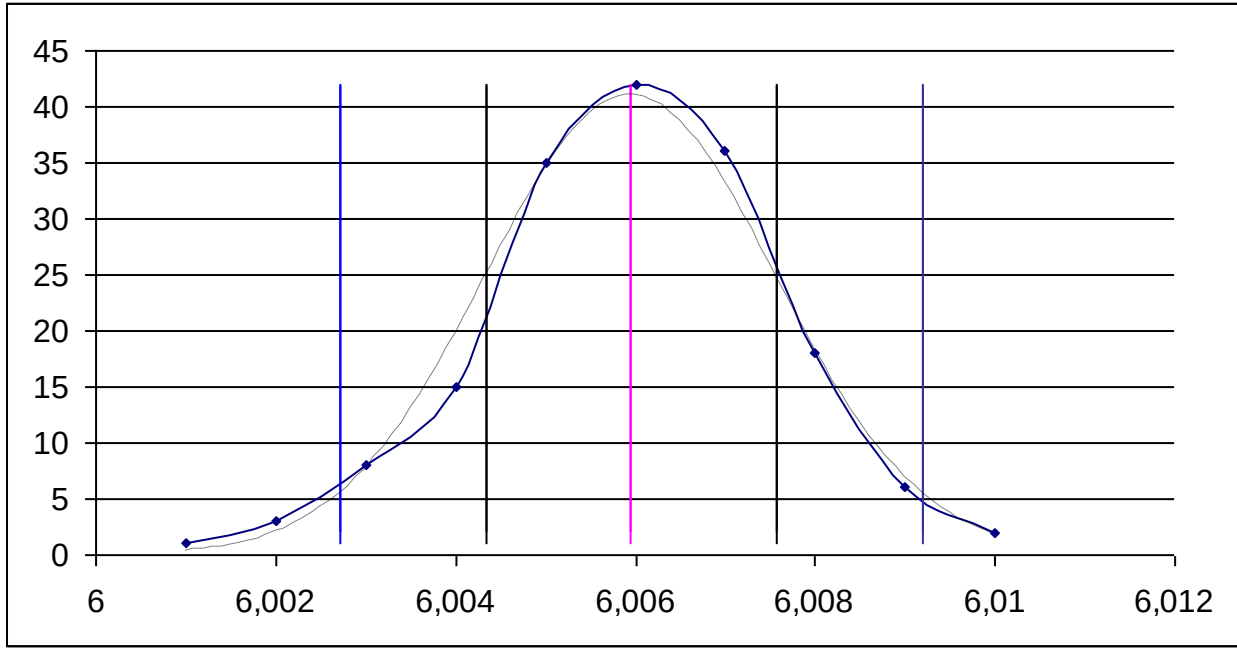
Toplam 166 ölçümün büyü bir sayı olduğunu kabul edersek bu sayının temsil ettiği ölçüm setinin dağılımının Gauss standart istatistiksel dağılıma yaklaştığını kabul edebiliriz. Gauss dağılımı temel olarak

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu)^2 / \sigma^2\right] \quad (2.5) \text{ denkleminde tanımlanabilir. Burada } p(X) \text{ } X$$

verisinin olasılık değeridir. U olasılık dağılımını tablo 2.1 deki örneğimizle karşılaştıralım. Gerçek verimizde her noktanın ölçüm frekanslarını veya ölçüm frekanslarının toplam veri sayısına bölümünü veriye göre grafiğe aktarabiliriz. Aynı ölçüm değerleri için gauss normal dağılımını da grafiğe aktardığımızda arada farklar bulunduğunu ancak benzer bir dağılım olduğunu görebiliriz. n=166 oldukça büyük bir rakam olmasına rağmen istatistiksel sonuç için gereken sonsuz sayıda rakamdan küçüktür, bu yüzden tam bir uyum sağlanamamıştır ama sonuçlar birbirine yakındır.

Şimdi verimizin ortalamasının iki tarafına doğru bir standart sapma mesafesinde verinin dağılım yüzdesine bakalım:

$\mu + \sigma = 6,007568017$ $\mu - \sigma = 6,004335597$ aralığında $(15+35+42)/166=92/166=0.5542$ verinin %55.52 si bu bölgede bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Tablo 2.1 de verilen verinin frekans dağılımının grafik görünümü ve gauss normal dağılımı

Verimizin ortalamasının iki tarafına doğru iki standart sapma mesafesinde verinin dağılım yüzdesine bakar isek:

$$\mu + 2\sigma = 6,009184228 \quad \mu - 2\sigma = 6,002719387 \text{ aralığında}$$

$(8+15+35+42+18+6)/166=160/166=0,9638$ verinin %96,38 si bu bölgede bulunmaktadır.

Verimizin ortalamasının iki tarafına doğru üç standart sapma mesafesinde verinin dağılım yüzdesine bakar isek:

$$\mu + 3\sigma = 6,010800438 \quad \mu - 3\sigma = 6,001103177 \text{ aralığında}$$

$(3+8+15+35+42+18+6+2)/166=165/166= 0,9939$ verinin %99,39 u bu bölgede bulunmaktadır.

Bu veri yüzdelерinin dağılımına gauss normal dağılım eğrisi üzerinden de bakabiliriz.

$$\mu \pm \sigma$$

Bölgesi için normal dağılım yüzdesi

$$\int_{-\sigma}^{\sigma} p(X)dX = \int_{-\sigma}^{\sigma} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu)^2 / \sigma^2\right]dX = 0.682689 = \%68,27$$

$\mu \pm 2\sigma$ Bölgesi için normal dağılım yüzdesi

$$\int_{-2\sigma}^{2\sigma} p(X)dX = \int_{-2\sigma}^{2\sigma} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu)^2 / \sigma^2\right]dX = 0,954499 = \%95,44$$

$\mu \pm 3\sigma$ Bölgesi için normal dağılım yüzdesi

$$\int_{-3\sigma}^{3\sigma} p(X)dX = \int_{-3\sigma}^{3\sigma} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu)^2 / \sigma^2\right]dX = 0,9973 = \%99.73$$

şeklinde hesaplanır. Veriden görüleceği gibi bu rakamlar deneysel değerlerimize yakındır. Bu yüzden verinin ortalamasından itibaren $\mu \pm 2\sigma$ bölgesinde veri normal dağılıma göre dağılıyorsa %95,44 ünün bulunacağını $\mu \pm 3\sigma$ bölgesinde veri normal dağılıma göre dağılıyorsa %99.73 ünün bulunacağını söylemek mümkündür.

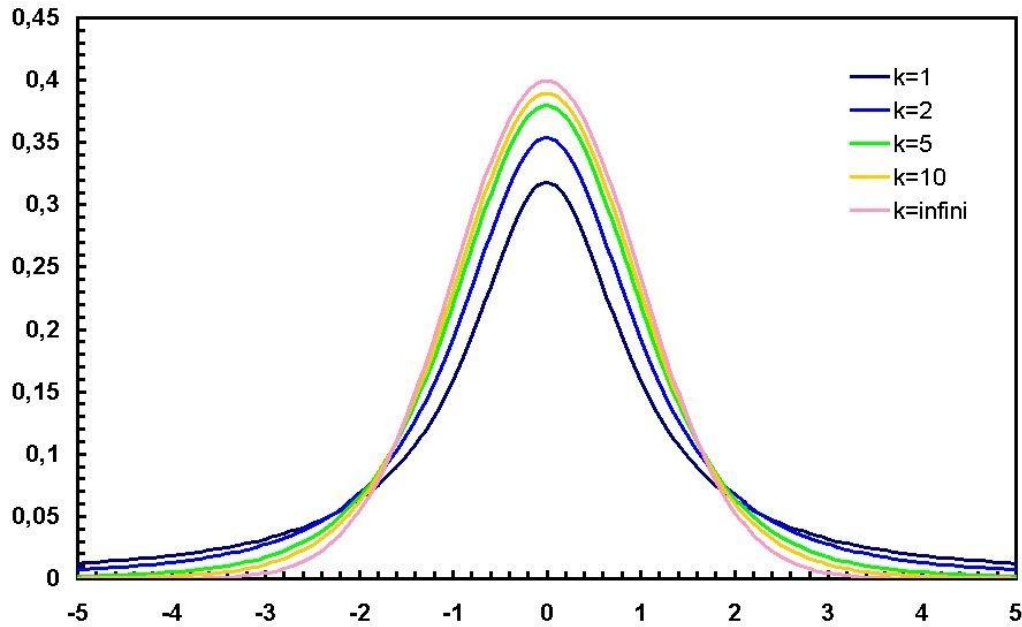
Genellikle gerçek test ve ölçümlerde yukarıdaki ölçümde verilen ölçüm sayılarına göre çok daha küçük sayılarda ölçümler almak zorunda kalırız. Bu durumda aldığımız set küçük olduğundan ortalama değerimiz istatistiksel ortalamadan sapar. Küçük setler için ortalama değer

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.6) \text{ ifadesiyle verilir. Bu denklem 2.1 denklemiyle aynıdır, yalnız burada } n$$

sayısının küçük olduğu ve bu örnek ortalamasının istatistiksel ortalamadan saptığını hatırlamamız gerekir. Küçük örneklem setleri için standart sapma ise :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.7) \text{ denklemi ile tanımlanır. Burada } n \text{ yerine } n-1 \text{ geldiğine dikkat}$$

edelim. Burada örneklemeler için olan a da elde ettiğimiz standart sapma büyük sayıdaki örneklemelerdeki standart sapmadan değişik değer vereceği de unutulmamalıdır.



Şekil 2.2 k serbestlik dereceli student's t dağılımı ve Gauss normal dağılımının(k=infini) karşılaştırılması

Bir verinin ortalama değerinin normal dağılımı ortalama değerinden ne kadar saptığının olasılıklarını belirlemek için student's t istatistiği kullanılır. Student's t istatistiği değerleri Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 Normal dağılım için Student's t istatistiği değerleri (iki taraflı)

N-1	%50	%60	%70	%80	%90	%95	%98	%99	%99,5	%99,8
1	1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,7100	31,82	63,66	127,3	318,3
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,92	4,3030	6,965	9,925	14,09	22,33
3	0,765	0,978	1,25	1,638	2,353	3,1820	4,541	5,841	7,453	10,21
4	0,741	0,941	1,19	1,533	2,132	2,7760	3,747	4,604	5,598	7,173
5	0,727	0,92	1,156	1,476	2,015	2,5710	3,365	4,032	4,773	5,893
6	0,718	0,906	1,134	1,44	1,943	2,4470	3,143	3,707	4,317	5,208
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,3650	2,998	3,499	4,029	4,785
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,86	2,3060	2,896	3,355	3,833	4,501

9	0,703	0,883	1,1	1,383	1,833	2,2620	2,821	3,25	3,69	4,297
10	0,7	0,879	1,093	1,372	1,812	2,2280	2,764	3,169	3,581	4,144
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,2010	2,718	3,106	3,497	4,025
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,1790	2,681	3,055	3,428	3,93
13	0,694	0,87	1,079	1,35	1,771	2,1600	2,65	3,012	3,372	3,852
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,1450	2,624	2,977	3,326	3,787
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,1310	2,602	2,947	3,286	3,733
16	0,69	0,865	1,071	1,337	1,746	2,1200	2,583	2,921	3,252	3,686
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,74	2,1100	2,567	2,898	3,222	3,646
18	0,688	0,862	1,067	1,33	1,734	2,1010	2,552	2,878	3,197	3,61
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,0930	2,539	2,861	3,174	3,579
20	0,687	0,86	1,064	1,325	1,725	2,0860	2,528	2,845	3,153	3,552
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,0800	2,518	2,831	3,135	3,527
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,0740	2,508	2,819	3,119	3,505
23	0,685	0,858	1,06	1,319	1,714	2,0690	2,5	2,807	3,104	3,485
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,0640	2,492	2,797	3,091	3,467
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,0600	2,485	2,787	3,078	3,45
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,0560	2,479	2,779	3,067	3,435
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,0520	2,473	2,771	3,057	3,421
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,0480	2,467	2,763	3,047	3,408
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,0450	2,462	2,756	3,038	3,396
30	0,683	0,854	1,055	1,31	1,697	2,0420	2,457	2,75	3,03	3,385
40	0,681	0,851	1,05	1,303	1,684	2,0210	2,423	2,704	2,971	3,307
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,0090	2,403	2,678	2,937	3,261
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,0000	2,39	2,66	2,915	3,232
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,9900	2,374	2,639	2,887	3,195
100	0,677	0,845	1,042	1,29	1,66	1,9840	2,364	2,626	2,871	3,174
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,9800	2,358	2,617	2,86	3,16
1000	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,9600	2,326	2,576	2,807	3,09

Tablodaki istatistik değerlerinin iki taraflı olarak verildiğini hatırlatalım, kaynaklarda tek bir taraf için verilebilir. Ölçümlerimiz için s_x kesinlik indeksini tanımladığımızda bunun değeri

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.8) \text{ şeklinde bulunur. Bu durumda verimizin ortalama değerinin normal}$$

gauss dağılımının ortalama değerine göre sapma olasılığı

+/- $t^*_{s_x}$ olacaktır. Bu durumda ölçülen büyüklüğü (olasılığın da faktörü olarak)

$\bar{x} \pm t_{\%95} s_x$ (2.9) olarak belirtebiliriz. Buradaki t_{s_x} verimizin aynı olasılıktaki standart gauss – normal dağılımı için çok sayıda veri alsaydık bulacağımız gerçek ortalama sapmasını gösterir. Bu terime **belirsizlik(U)** ismini veriyoruz.

Bir örnekle kavramımızı pekiştirelim

Örnek 2.1 $X_i=7,8,7,6,5,6,7,8,6,9,8$ değerleri için ortalama μ nün en uygun değerini ve bu gözlemlerin kesinlik indeksini ve $\bar{x}$ için %95 güvenilirlik aralığını bulunuz.

$$\text{Ortalama } \bar{X} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} X_i = \frac{77}{11} = 7 \text{ olarak bulunur.}$$

$$\text{Standart sapma : } s_x = \sqrt{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{11} (X_i - 7)^2 \right]} = \sqrt{\frac{14}{10}} = 1.18$$

Ortalamanın kesinlik indeksi :

$$S_{\bar{x}} = S_x / \sqrt{n} = \frac{1.18}{\sqrt{11}} = 0.357 \text{ olarak bulunur. Tablo 2.2 den \%95 için serbestlik derecesi } rine$$

(N-1)=10 için $t_{10,95\%} = 2,228$ olduğundan, ortalamanın bulunması gereken aralık (belirsizlik)

$$\bar{x} \pm t_{\%95} s_x = 7 \pm 2,228 * 0,357 = 7 \pm 0.795$$

$6.2 \leq \mu \leq 7.8$ %95 güvenirlikle saptanır.

Eğer tek bir veri seti yerine bir veri seti serisinin ölçümü yapılacaksa, ortalama ve standart sapma değerlerinin bu seriler için ağırlıklı ortalamaları bulunarak hesaplamalar gerçekleştirilir. Örneğin her birinde n veri olan M set ölçümün belirsizlik değerlerini saptamak için

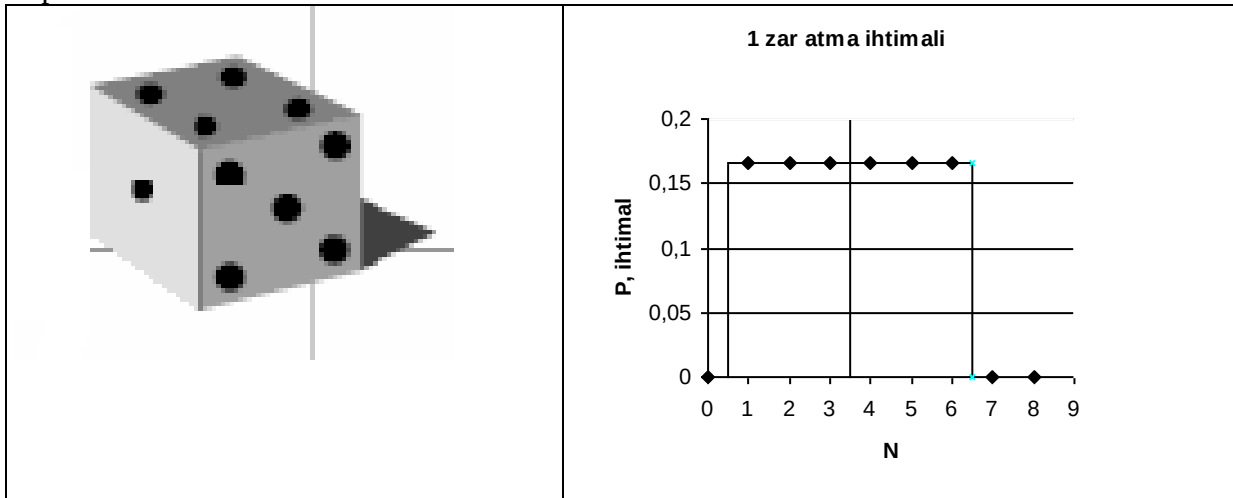
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^M n_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^M n_i} \quad (2.10) \text{ denklemleri kullanılabılır veya her birinde M set ölçüm bulunan ölçüm}$$

setlerinin standart sapması için de

$$s_n = \sqrt{\left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i^2 \right]} \quad (2.11) \text{ denklemlerinden yararlanılabılır. Birden fazla set kullanıldığında}$$

serbestlik derecesini hesaparken tüm setlerdeki toplam veri sayısının bir eksiği kullanılır.

Tüm ölçüm sonuçları normal dağılım göstermez bazı ölçümler değişik dağılımlara göre biçimlenebilir. Normal dağılım dışındaki en yaygın dağılımlar dikdörtgen dağılım ve üçgen dağılımdır. Bunları örnekleriyle inceleyeli. İlk örnek olarak tek bir zar attığımızda zarın 1,2,3..6 gelme ihtimallerine bakalım. Zarın her yüzeyinin gelme ihtimali eşit olduğundan sayılar 1 den 6 ya kadar sayıların gelme ihtimali 1/6 diğer sayıların gelme ihtimali ise 0 dır. Şekil 2.3 de bu ihtimal görülmektedir. Bu durumda zar örneği için standart sapma



Şekil 2.3 bir zar atışta sayıların dağılımı

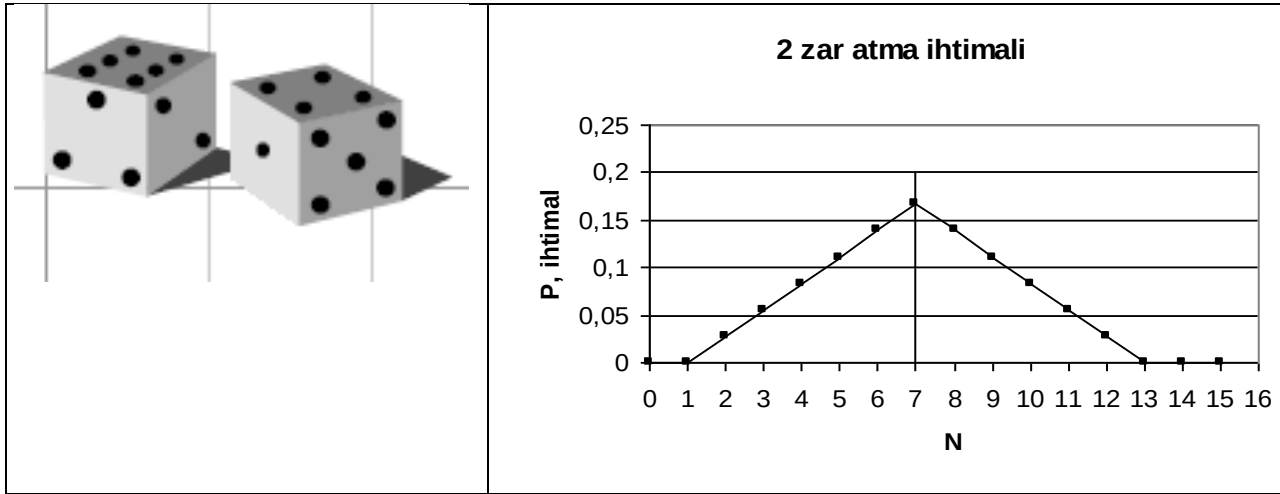
$s = \frac{a}{\sqrt{3}}$ (2.12) denklemi ile tanımlanır. Buradaki a dikdörtgen tabanının yarısına eşittir. Zar örneği için değeri 3 dür. Ortalama değer ise 3.5 dur.

1 zar atmada zarın gelme ihtimali

zar toplamı

0	0	
1	0,16666667	1/6
2	0,16666667	1/6
3	0,16666667	1/6
4	0,16666667	1/6
5	0,16666667	1/6
6	0,16666667	1/6
7	0	
8	0	0
toplam ihtimal	1	0

2 zarı beraber atarsak bu durumda üçgen bir olasılık dağılımı oluşacaktır. Bu durumdaki standart sapma değeri $s = \frac{a}{\sqrt{6}}$ (2.13) denklemi ile tanımlanır. a ügenin taban boyunun yarısına eşittir. Zar problemi için değeri 6 ya eşittir. Ortalama değer ise 7 dir.



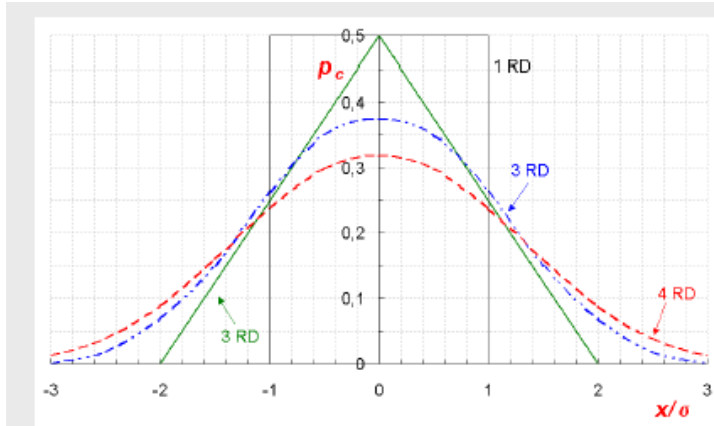
Şekil 2.4 iki zar atışta sayıların dağılımı

zar toplamı

zar toplamı	zar kombinasyonu	ihtimal	zar frekansı	toplam*frekans
0		0	0	0
1		0	0	0
2	11	0,027778 1/36	1	2
3	12 21	0,055556 2/36	2	6
4	22 13 31	0,083333 3/36	3	12
5	14 41 23 32	0,111111 4/36	4	20
6	33 15 51 42 24	0,138889 5/36	5	30
7	16 61 25 52 34 43	0,166667 6/36=1/6	6	42
8	44 26 62 35 53	0,138889 5/36	5	40

9	26 63 45 54	0,111111 4/36	4	36
10	55 46 64	0,083333 3/36	3	30
11	56 65	0,055556 2/36	2	22
12	66	0,027778 1/36	1	12
13		0	0	0
14		0	0	0
15		0	0	0
	Toplam	1	36	252

Zar sayısını arttırdığımızda dağılım Gauss-normal dağılımına doğru yaklaşır. Sonsuz sayıda zar kullandığımızda dağılım Gauss-normal dağılımına eşit olur.



Şekil 2.5 1,2,3 ve 4 zar atışta sayıların dağılımı

Bir önceki bölümümüzde kesinlik(precision) ve eğilim-sapma(biass) kavramlarını kavramsal olarak incelemiştik. Şu ana kadar gördüğümüz üzere kesinlik ölçeği standart sapmadır. Gerçek değerle ortalama değer arasındaki sapma miktarına da eğilim(B) ismi verilmişti. Bir ölçüm setinin eğilimi eğer biliniyorsa bu değer istatistiksel olarak hesaplanan belirsizlik değerine eklenebilir. Tutucu modellerde toplam belirsizlik

$U_{ADD} = B + t_{95} S_x$ (2.14) denklemleriyle belirlenebilir, ancak daha bilimsel yaklaşım karelerinin karekökünü almaktır.

$$U_{RSS} = [B^2 + (t_{95} S_x)^2]^{(1/2)} \quad (2.15)$$

Eğilim terimi eğer ölçüm yapıldığında düzeltilerek kullanılırsa bu terimi hesaptan çıkararak toplam belirsizliği küçültme olasılığı mevcuttur, yalnız bunun son kullanıcı tarafından doğru bir şekilde ölçüm yapılırken düzeltilceğinden emin olmak zorundayız.

Çoğu kez ölçüm sonucu, r , bir veya birden çok fonksiyona göre bir çok bağımsız parametre P_i lerin bir araya gelmesiyle oluşur. Diğer bir deyişle girdi parametreleri P_i ve çıktı parametresi r arasında

$R=f(P^*_1, P^*_2, P^*_3, \dots, P^*_j)$ (2.16) ilişkisi mevcuttur. Buradaki

$$P^*_i = \frac{\sum_{k=1}^n P_{ik}}{n} \quad (2.17) \text{ olarak hesaplanabilir } v_j \text{ kullanılan parameterlerin sayısını verir. Böyle}$$

bir durumda önemli bir nokta gözden kaçırılmamalıdır. Bu da tek tek her ölçümdeki hatanın sonuca nasıl taşınacağıdır. Farklı bir şekilde söylersek türemiş sonucun kesinliği ve yönlendirilmiş hatası nedir?

Bu durumda belirsizlik aralığı $r \pm U_r$ ve ölçüm sonucunun belirsizliği

$$U_{rADD} = B_r + t_{95} S_r \quad (2.18) \quad \text{veya}$$

$U_{rRSS} = [B_{r2} + (t_{95} S_r)^2]^{(1/2)}$ (2.19) şeklinde belirtilebilir. Burada istatistik ve matematikte çok bilinen kısmi türev bağıntısından yararlanarak aradaki bağıntıyı oluşturabiliriz. Sonucun kesinlik indeksi mutlak olarak

$$s_r = [(\frac{\partial r}{\partial P_1} s_{P1})^2 + (\frac{\partial r}{\partial P_2} s_{P2})^2 + \dots + (\frac{\partial r}{\partial P_j} s_{Pj})^2]^{1/2} \quad (2.20)$$

göreceli olarak ise,

$$\frac{s_r}{r} = [\sum_{i=1}^j (\frac{\partial r / r}{\partial P_i / P_i^* P_i^*} s_{P_i^*})^2]^{1/2} \quad (2.21) \text{ şeklinde yazılabilir. Türev ifadeleri yerine bir}$$

eşdeğeri tanımlanırsa mutlak olarak yazılan denklemde

$$\theta_i = \frac{\partial r}{\partial P_i} \quad (2.22) \text{ olarak ifade edilebilir. Göreceli olarak yazılan denklemde ise}$$

$$\theta_i = (\frac{\partial r / r}{\partial P_i / P_i^*}) \quad (2.23) \text{ yazılabilir. Bu faktörler her bir parametrenin kesinlik indeksi } s_i \text{ nin}$$

çarpanı olarak hesaplara katılmalıdır.

$$s_r = [(\theta_1 s_{P1})^2 + (\theta_2 s_{P2})^2 + \dots + (\theta_j s_{Pj})^2]^{1/2} \quad (2.24)$$

$$\frac{s_r}{r} = [(\theta_1 \frac{s_{P1}}{P_1})^2 + (\theta_2 \frac{s_{P2}}{P_2})^2 + \dots + (\theta_j \frac{s_{Pj}}{P_j})^2]^{1/2} \quad (2.25)$$

bileşik belirsizlik problemine bir örnek verelim :

ölçülecek değişken P kinetik enerji olsun. Bu değişken kütle (m) ve hız(V)değişkenlerine

$P=1/2 m V^2$ bağıntısıyla bağlıdır . Bu bağıntıdan $\theta_1 = \frac{\partial P}{\partial m}$ ve $\theta_2 = \frac{\partial P}{\partial V}$ doğrudan

bağıntıdan hesaplanabilir, ancak biz bu hesaplamayı daha genel bir şekilde göstermek için bu problemde sonlu fraklar kullandık.

P(hesaplanan)	dP	m (ölçülen)	dm	V(ölçülen)	dV	dP/dm	dP/dV	t %95%	t
987,45576	-4,08797	10,049079	-0,055537	14,0188	0,00977	73,6086	-418,42	N	t
983,3678	-8,66372	9,9935424	0,0074698	14,0286	0,06715	-1159,83	129,02	1	12,71
974,70407	-2,68205	10,001012	-0,039069	13,9614	0,00809	68,6482	-331,47	2	4,303
972,02203	8,845465	9,9619427	-0,001198	13,9695	0,06426	-7384,49	137,65	3	3,182
980,86749	5,268136	9,9607449	0,0359742	14,0338	0,01229	146,442	428,48	4	2,776
986,13563	-6,90108	9,9967191	0,0026386	14,0461	0,05108	-2615,42	135,1	5	2,571
979,23454	5,988746	9,9993577	0,0138339	13,995	0,03303	432,905	181,32	6	2,447
985,22329	-6,43507	10,013192	-0,037753	14,028	0,01945	170,453	330,78	7	2,365
978,78822	8,275381	9,9754387	0,0291593	14,0086	0,03858	283,799	214,51	8	2,306
987,0636	-4,95603	10,004598	-0,026031	14,0471	0,01705	190,389	290,76	9	2,262
982,10757	4,701829	9,978567	0,0488096	14,0301	0,00073	96,33	-6478,9	10	2,228
986,8094	-7,84882	10,027377	-0,040997	14,0294	0,02725	191,451	288,01	11	2,201

					-				
978,96058	-7,66839	9,98638	-0,026842	14,0021	0,03617	285,691	212,03	12	2,179
971,2922	9,436908	9,9595385	0,0895216	13,9659	0,00503	105,415	1875,2	13	2,16
980,72911	2,657249	10,04906	-0,007922	13,971	0,02443	-335,41	108,76	14	2,145
983,38636	5,989559	10,041138	-0,005795	13,9954	0,04661	-1033,55	128,51	15	2,131
					-				
989,37591	-8,49256	10,035343	-0,013817	14,042	0,05076	614,651	167,3	16	2,12
					-				
980,88335	-3,57543	10,021526	0,0043579	13,9913	0,02856	-820,449	125,2	17	2,11
977,30792	3,45499	10,025884	-0,001118	13,9627	0,02544	-3091,51	135,82	18	2,101
980,76291		10,024766		13,9881				19	2,093

Sonuçları denklem 2.24 e göre bir araya getirdiğimizde :

xort	981,32389	-0,35226	10,00526	-0,00128	14,0057	-	-
s	5,0127952		0,0288585		0,02944		
N	20		20		20		
t95%	2,093		2,093		2,093		
sx	1,1208951		0,006453		0,00658		
t95%*sx	2,3460334		0,013506		0,01378		

U(p) 9,9419698
971,38192 <= P <= 991,26586 95%

Bulunur.

Belirsizlik konusundaki son kavram A ve B tipi olmak üzere iki tür belirsizlik olduğudur. A Tipi belirsizlik buraya kadar bahsettiğimiz istatistik yöntemleri kullanan ve ölçülebilen belirsizlikleri kapsar. B tipi belirsizlik ise daha önceden elimizde olan direk olarak ölçülmesi zor olabilen belirsizliklerdir. Bu türe örne olarak daha önce yapılan ir ölçümde elde edilen veriler, ilgili malzemeler ve kullanılan cihazlar hakkında deneyim ve daha önce edinilmiş bilgiler, yapımının belirttiği özellikler, kalibrasyon ve diğer sertifikalarda bulunan veriler, el kitaplarından alınan referans verilere ilişkin belirsizliklerdir.

3. ÖLÇÜM ALETLERİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

1 SICAKLIK ÖLÇÜM ALETLERİ VE TEKNİKLERİ

Sıcaklık en fazla ölçülen ve kullanılan mühendislik girdisidir. Sıcaklığı atom ve molekül hareketlerinin kinetik enerjisinin makro dünyaya yansımalarının ölçümü olarak tanımlayabiliriz.

Temel olarak iki sıcaklık skalası kullanılır.

Bunlardan Anders Celcius (1701-1744) tarafından tanımlanmış sistemde 1 atmosfer (1.01325 bar) basınçta suyun kaynama noktası 0, donma noktası 100 olarak tanımlanmış, daha sonra Carrolus Linnaeus (1707-1778) bu skalayı tersine çevirmiş ve 1 atmosferdeki suyun donma noktasını 0 ve kaynama noktasını 100 olarak değiştirmiştir. Bu ölçüm sistemi günümüzde derece Celcius (C) olarak adlandırılır.

Alman fizikçi Gabriel D. Fahrenheit (1686-1736) tarafından ortaya atılan, vücut sıcaklığını 100 kabul eden ve suyun bir atmosferdeki donma noktasıyla kaynama noktası arasını 180 eşit parçaya bölen skalası halen kullanılmaktadır. Bu skalaya derece Fahrenheit (F) adı verilir. Bu skalada suyun 1 atmosferde donma noktası 32 F ye eşittir.

Mühendislik uygulamalarında genellikle atom ve moleküllerin kinetik enerjisinin sıfırlandığı nokta ölçüm için baz alınır bu noktanın derece Celcius karşılığı gelen değeri -273.15 dir. Bu noktadan başlayan derece Celciusla aynı büyüklükte giden skala Derece Kelvin (K) olarak

adlandırılır. Temel SI skalası degree K dir.Fahrenheit skalasında aynı nokta –459.67 derece Fahrenheit’e karşı gelir. Bu noktadan başlayan ve derece Fahrenheit büyüklüğüyle giden skalaya derece Rankine (R) adı verilir. Bu dört skala birbirlerine dönüştürülebilir.

$$T_C = T_K - 273.15 \quad (\text{Eşitlik .1})$$

$$T_R = T_F - 459.67 \quad (\text{Eşitlik .2})$$

$$T_R = 1.8 T_K \quad (\text{Eşitlik .3})$$

$$T_C = (T_F - 32)/1.8 \quad (\text{Eşitlik .4})$$

$$T_F = 1.8 * T_C + 32 \quad (\text{Eşitlik .5})$$

Uluslararası temel standartların (SI) sıcaklık ölçüm birimi derece Kelvindir, fakat bilhassa sıcaklık farkları belirtilmesinde derece Celcius da kullanılır.

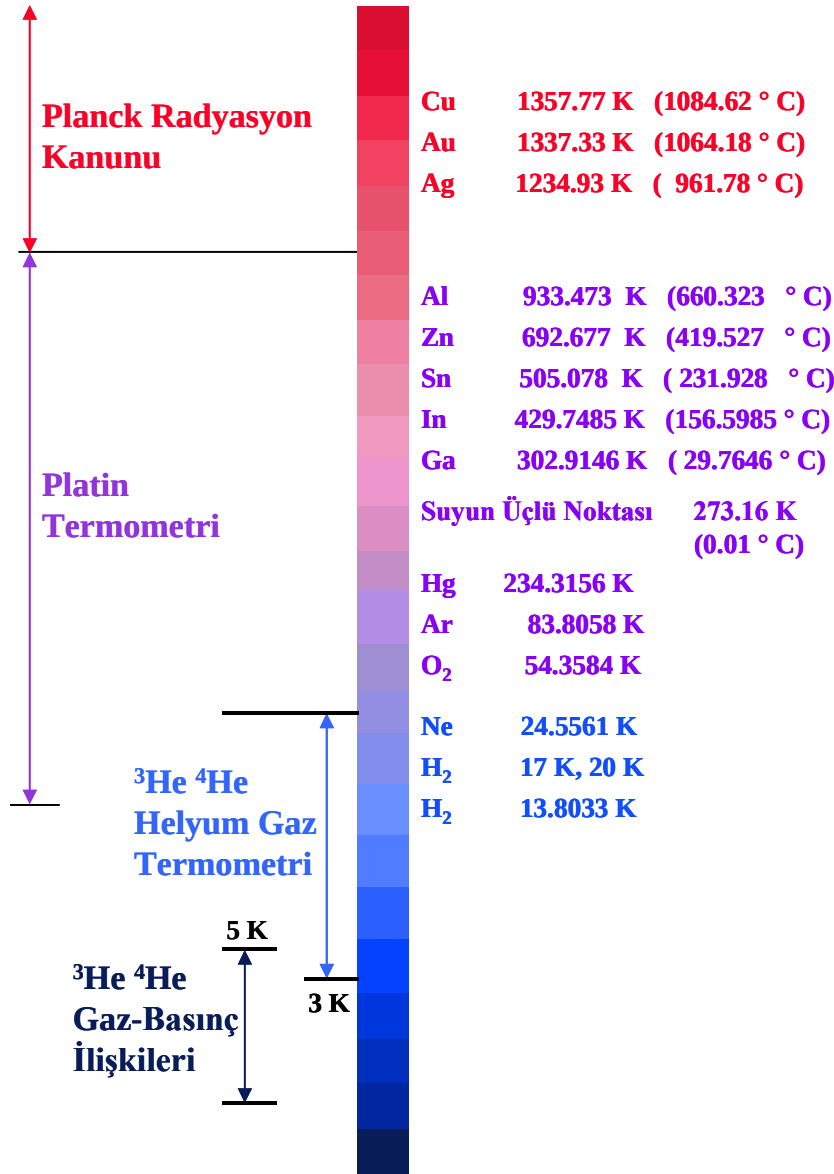
Modern mühendislikte hassas sıcaklık ölçümleri yapabilmek için hassas standartlara ihtiyacımız vardır. Bu standart referans sıcaklıkları 1990 uluslararası sıcaklık skalası(ITS-90) da tanımlanmıştır[1]. Bu tanıma göre çeşitli maddelerin üçlü noktaları(katı, sıvı ve gaz fazlarının aynı anda bulunduğu noktalar) veya 1 atmosferdeki ikili noktaları (katı ve sıvı fazlarının aynı anda bulunduğu noktalar tanımlanmıştır. Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90)

ITS-90 sıcaklık ölçeği, daha önce kullanılmış olan birçok uluslararası sıcaklık ölçeğinin bugüne dek geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu ölçekler, sıcaklık ölçümlerinin doğru ve tekrarlanabilir bir şekilde yapılmasına ve ölçülen sıcaklığa karşılık gelen termodinamik sıcaklığa en yakın şekilde hesaplanabilmesine olanak verecek şekilde oluşturulmuştur.

Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Komitesi tarafından 1989 yılında, 1968 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği’nin yerine, 1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği kabul edilmiştir

Bu tanımlar ve sıcaklık eşdeğerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

TABLO .1 ITS-90 STANDARD SICAKLIK REFERANS NOKTALARI		
Referans Tanımı	Derece Kelvin (K)	Derece Celcius (C)
Hidrojenin üçlü noktası	13.8033	-259.3467
25/76 atmosfer aralığında hidrojen sıvı/gaz dengesi	Yaklaşık 17	Yaklaşık –256.15
1 atmosferde hidrojen sıvı/gaz dengesi	Yaklaşık 20.3	Yaklaşık –252.87
Neonun üçlü noktası	24.5561	-248.5939
Oksijenin üçlü noktası	54.3584	-218.7916
Argonun üçlü noktası	83.8058	-189.3442
Suyun üçlü noktası	273.16	0.01
1 atmosferde Galyumun katı/sıvı dengesi	302.9142	29.7646
1 atmosferde Kalayın katı/sıvı dengesi	505.078	231.928
1 atmosferde Çinkonun katı/sıvı dengesi	692.677	419.527
1 atmosferde Gümüşün katı/sıvı dengesi	1234.93	961.78
1 atmosferde Altının katı/sıvı dengesi	1337.33	1068
1 atmosferde Bakırın katı/sıvı dengesi	1357.77	1084.62

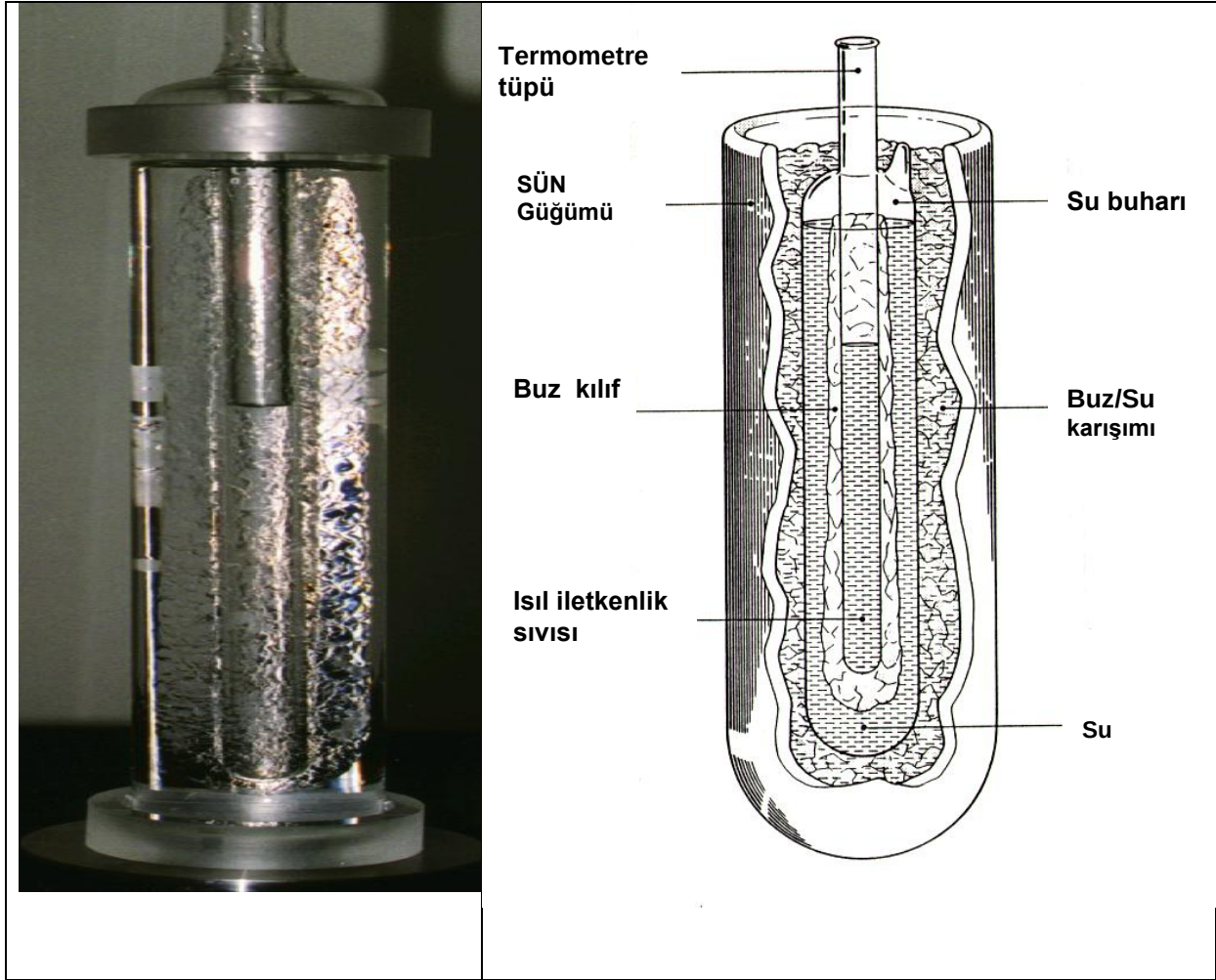


ITS-90 eşitlikleri termometrelerin belli sıcaklıktaki dirençlerinin suyun çlü noktasındaki direncine oranı olarak tanımlandığı için suyun üçlü noktası değeri çok önemlidir. Ayrıca, termometrelerin kalibrasyon süresince ve termometrenin her bir sabit noktada ölçümünden sonra kararlılığının saptanmasında kullanılır. Suyun üçlü noktası termodinamik bir tanım olup suyun katı(buz) sıvı(su) ve gaz(su buharı) fazlarının bir arada bulunduğu denge noktasıdır ve 0.01 C ye eşittir. Alttağı şekillerde suyun üçlü noktası test seti görölmektedir

Sıcaklık ölçümleri için kullanılan başlıca metotlar şunlardır

1. Cam içinde sıvılı ve gazlı termometreler
2. Bimetalik termometreler
3. Elektrik dirençli termometreler
4. Termoelektrik termometreler (termocouple'lar)
5. Radyasyon termometreleri

Bu metotlara kısaca bir göz atalım :



Şekil bir suyun 3l  noktası

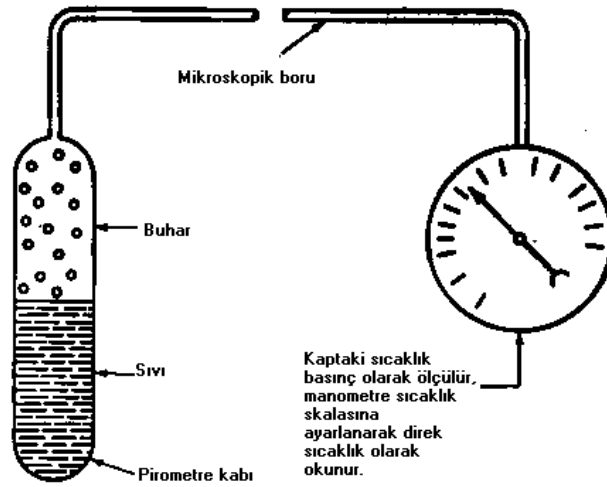
Cam içinde sıvılı ve gazlı termometreler

Cam içindeki sıvılardan yararlanarak sıcaklık  l me, sıcaklık  l  mlerindeki en eski tekniktir. Bu termometreler sıvının depolandığı bir sıvı kabıyla basıncı tamamen alınmış mikroskobik bir burudan oluşur. Sıcaklığın değeriinin değışmesiyle mikroskobik borudaki sıvı seviyesi lineer bir şekilde değışir. Bu tür termometrelerin kullanılmasında termometrenin ne kadar bir kısmının ölçüm yapılacak sistemin içinde olması gerektiğı önemlidir. Hassas termometrelerde bu değ r genellikle termometrenin üzerinde yazar. 1mm den başlayıp bazı termometreler için termometrenin tamamının  l   ortamı içinde olması gerekebilir. Gazlı termometreler gazın basıncının sıcaklığın fonksiyonu olarak değışmesini esas alır. Tüpün içindeki gazın basıncı bir basınç ölür aracılığıyla ölçülür. Basınç ölür direk olarak sıcaklık skalasına da ayarlanabilir.

Bimetalik termometreler

Bimetalik termometreler değışik metallerin ısıl genleşmelerinin değışik olması prensibine dayanır. Üst üste yapıştırılmış iki metal değışik ısıl genleşmeden dolayı sıcaklığın fonksiyonu olarak eğilir. Sıcaklığın fonksiyonu olan bu eğilimin ölçülmesi bize sıcaklığı verir.

Şekil 2 Gazlı termometre



Elektrik dirençli termometreler

Elektrik dirençli termometreler temel olarak iki ana grupta toplanabilir. Birincisi direnç sıcaklık detektörleri (RTD), diğeri ise termistorlardır. RTD metodu genelde metallerin direncinin sıcaklıkla değişmesi, ve saf metaller için bu değişimin tam olarak bilinmesine dayanır. Bir saf metal telin referans sıcaklıktaki(T_0) direnci (R_0) biliniyorsa, T sıcaklığındaki direnci :

$$R=R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \dots] \quad (\text{Eşitlik .6})$$

Formülüyle verilir burada $\alpha, \beta, \dots$ malzemeye bağlı sabitler olup tablolar halinde verilmiştir. Belirli bir sıcaklıkta R değeri ölçülerek bulunur ve sıcaklık polinomum çözülmesinden elde edilir. Eğer çok fazla bir hassasiyete gerek yoksa polinomun sadece ilk lineer terimi de kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta devrede kullanılan tüm tellerin belirli bir direnci olduğu ve bunlar göz önüne alınmazsa rahatlıkla hata yapılabileceğidir. Bu hataları minimize etmek için çeşitli köprü devreleri kullanılır.

Termistorlar (Thermally sensitive resistors=ısıya duyarlı dirençler) genellikle seramikten yapılmış yarı iletken malzemelerdir. Termistorların dirençleri

$$R=R_0 \exp[\beta(1/T - 1/T_0)] \quad (\text{Eşitlik .7})$$

Formülü ile değişir. Bu denklemdaki β katsayısı da sıcaklık ve malzemenin fonksiyonudur. Genellikle 3500 K – 4600 K arasında değişir. β değeri genellikle imalatçı tarafından verilir ve küçük bir sıcaklık bölgesi için sabit olarak kabul edilebilir. Daha hassas ölçümler için β değerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değeri denkleme ilave edilmeli ve non-lineer denklem sistemi çözülmelidir. Termistorlarda genel olarak direnç değişimi RTD'ler ile kıyaslandığında oldukça büyüktür. Direnç termometreleriyle oldukça hassas ölçüm yapmak mümkündür. Bu yüzden kalibre termometreleri olarak yaygın bir şekilde kullanılırlar.

ITP 90 standartlarında sıcaklık ölçümleri Standart platin direnç termometresi(SPRT) adı verilen direnç termometreleri ile yapılır. Standart direnç termometreler saf platin telden, özel yapım teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu termometrelerin sıcaklık ölçen sensör

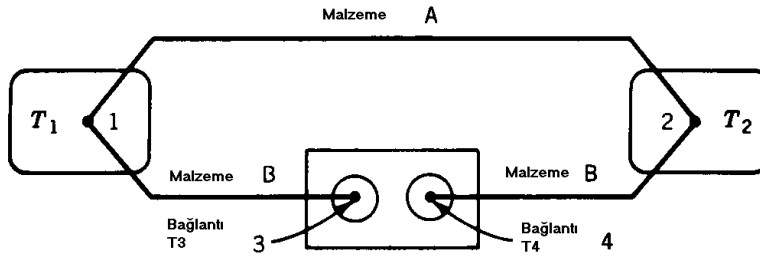
kısının boyu 5 cm dir ve sensörü okuma cihazına bağlamak için 4 adet platin tel vakumlu kılıflar içerisinde geçirilmiştir. Uzatma kabloları ile okuma cihazına bağlanan platin teller yardımıyla sıcaklık ölçülmektedir. Boyları 45 cm ile 60 cm arasında değişmektedir. SPRT'leri kullanılacak sıcaklık aralığına göre farklı direnç değerlerinde olabilirler: SPRT'lerin çalışma aralığı 13.8 K ile 961.78 °C kapsar. Fakat hiçbir platin direnç termometre bu sıcaklık aralığında yüksek doğrulukla kullanılamaz. Bunun için bu sıcaklık aralığı belli alt sıcaklık aralıklarına bölünmüştür.

- 13.80 K ile 273.16 K (0.01 °C) arasında genellikle 25 Ohm (273.16 K deki değeri) kapsül tipi termometreler kullanılır.
- Long stem (uzun gövdeli) termometreler, 25 Ohm –189 °C ile 660 °C arasında kullanılmaktadırlar.
- Yüksek sıcaklık termometreleri, genellikle 0.2 ve 2.5 Ohm'luk(273.16 K değeri), 0 °C ile 961.78 °C aralığında kullanılırlar.

İkinci derece kalibrasyon laboratuvarları kalibrasyon ii

Termoelektrik termometreler

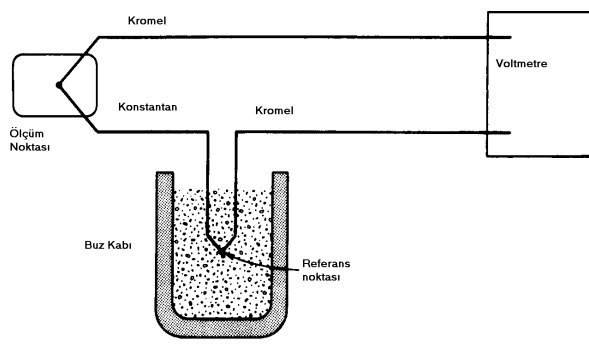
Termoelektrik termometreler genelde termocouple adıyla anılırlar ve en yaygın olarak kullanılan sıcaklık ölçüm metodudur. Termocouple iki değişik malzemeden yapılmış tellerin iki ucundan bağlanmasına dayanır. Thomass Johann Seebeck (1770-1831) bu iki telin bağlantı noktalarının değişik sıcaklıktaki ortamlara sokulduğunda telden bir akımın geçtiğini bulmuştur. Bu olaya Seebeck etkisi adı verilir. Tellerin bir ucu standart bir referans noktasında (örneğin su-buz karışımında) tutulursa, devrenin voltajı belirli bir tel çifti için direk olarak sıcaklığın fonksiyonudur.



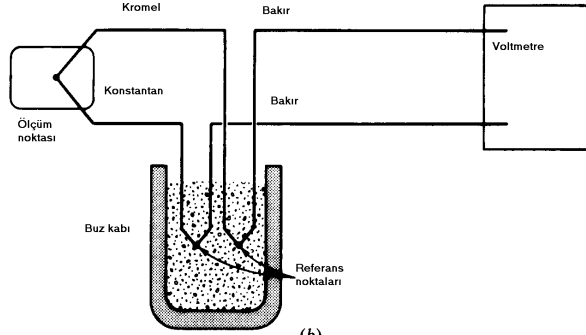
Şekil 3 Termocouple prensibi

Amerikan ulusal standartlar enstitüsü (The National Institute of Standards=NIST) standart termocouple malzemeleri ve imal usulleriyle ilgili standartlar yayınlamıştır. Bu standartlara göre oluşturulmuş tellerin vereceği voltaj(emf) değerleri bilindiğinden ucuz sıcaklık ölçüm sistemleri geliştirilebilmiştir. Başlıca standart thermocouple çiftleri Tablo 2 de verilmiştir. Bunlara karşı gelen standart voltajlarda (0 °C referans değeri) Şekil .4 de görülmektedir.

Termocouple sıcaklık ölçümleri için el tipi veya laboratuvar tipi çeşitli ölçüm ve kontrol cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazların çoğunda ya sabit sıcaklık referans noktaları bulunur, ya da termistor tipi bir resistance termometresiyle ortam sıcaklığını ölçüp referans sıcaklığı olarak kullanır. Bu tip araçların ucuz olması genellikle kalibre edilmeden kullanılmalarına yol



(a)



(b)

Şekil 4 Termocouple ve referans telinin bağlanması

açmaktadır. Her mühendislik ölçüm aletinde olduğu gibi el tipi termocouple okuyucularının da kalibre edilmeleri gerekir. Diğer önemli bir nokta da bu tip el cihazlarının içine girilen voltaj-sıcaklık eğrileri genelde belli bir sıcaklık bölgesi içindir. Bunun dışında ölçüm yapılacak olursa bu cihazlar çok yanlış sonuçlar verebilir.

Tablo .2 Standart termocouple bileşenleri			
Tip	Tel		Standarda hata miktarı
	Pozitif (+)	Negatif (-)	
S	Platin	Platin/10% Rodyum	
R	Platin	Platin/ 13% Rodyum	
B	Platin/30% Rodyum	Platin/6% Rodyum	
T	Bakır	Konstantan	
J	Demir	Konstantan	
K	Kromel	Alumel	
E	Kromel	Konstantan	
Malzeme detayı :			
Konstantan(Constantan) : 55% Bakır, %45 Nikel			
Kromel(Chromel) : 90% Nikel, 10% Krom			
Alumel : 94% Nikel,3 Manganez,2% Aliminyum,1% silikon			

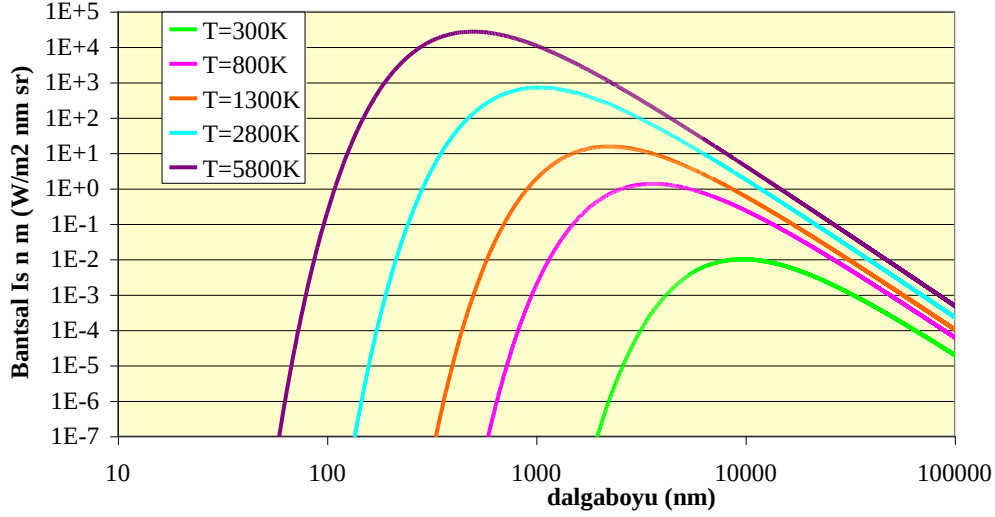
Radyasyon termometreleri

Radyasyon elektromanyetik dalgaların bir cismin yüzeyinden yayınıdır. Radyasyonun hem dalga hem de parçacık özelliği gösterdiği söylenebilir. Bir radyasyon kaynağından yayılan enerji yüzeyin dalga boyu, yüzey karakterleri ve sıcaklığın fonksiyonudur. Radyasyon yardımıyla sıcaklık ölçümü genelde radyasyon kaynağından çıkan enerjinin saptanmasına bağlıdır. İdeal siyah bir yüzey (belirli bir sıcaklıkta maksimum radyasyon yayınlayan yüzey) belirli bir dalga boyunda Max Plank(1858-1947) tarafından geliştirilen

$$E_{b\lambda} = [2 \cdot \pi \cdot h_p \cdot c^2] / [\lambda^5 \cdot (\exp(h_p \cdot c / k_b \cdot \lambda T) - 1)] \quad (\text{Eşitlik .8})$$

Denklemine göre enerji yayar.

Plank Is n m Kanunu



Şekil 5 çeşitli dalga boyları ve sıcaklıklar için radyasyon ısıtım enerjisi

Buradaki

$E_{b\lambda}$ toplam λ dalga boyunda yayılan ideal siyah yüzey enerjisi enerji miktarı,

λ dalga boyu,

c ses hızı = $2.988 \cdot 10^8$ m/s

h_p Plank sabiti = $6.6256 \cdot 10^{-34}$ J-s/molekül

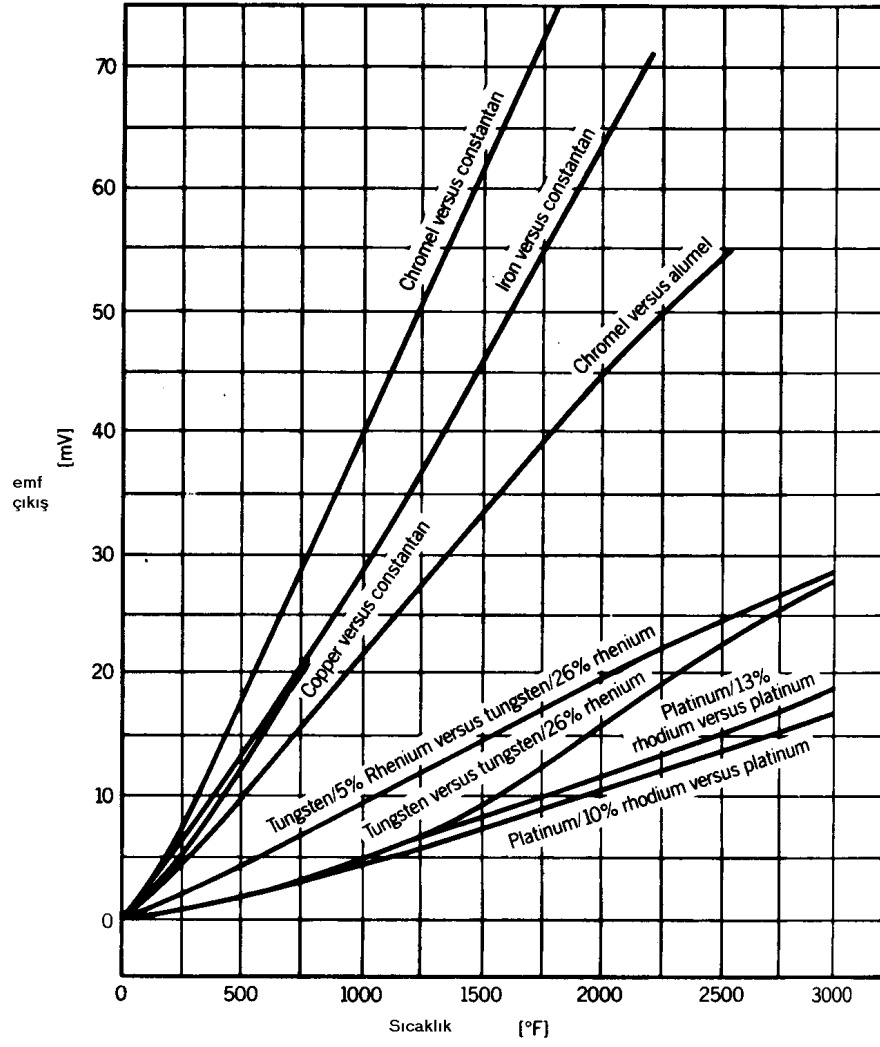
k_b Boltzman sabiti = $1.3805 \cdot 10^{-23}$ J/(K molekül)

eğer bu denklem tüm dalga boyları için integre edilirse ideal siyah yüzeyin tüm dalga boylarında yayabileceği toplam enerji çıkar.

$$E_b = \sigma T^4 \quad (\text{Eşitlik .9})$$

Burada σ Stefan-Boltzman sabiti adını alır ve değeri $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴) e eşittir.

Bizim ısı enerjisi olarak algıladığımız dalga boyları genelde sadece 10^{-1} den 10^2 μ m



Şekil 6 Çeşitli termocouple tellerinde (0 C referans) voltaj-sıcaklık eğrileri

civarındadır. Gerçek yüzeyler ideal siyah yüzeye göre daima daha az radyasyon yayarlar.

Gerçek yüzeyin yaydığı radyasyonun ideal siyah yüzeyin yaydığı radyasyona oranına emisivite adı verilir. Yani

$$E_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} E_{b\lambda} \quad (\text{Eşitlik .10})$$

$$E = \varepsilon E_b \quad (\text{Eşitlik .11})$$

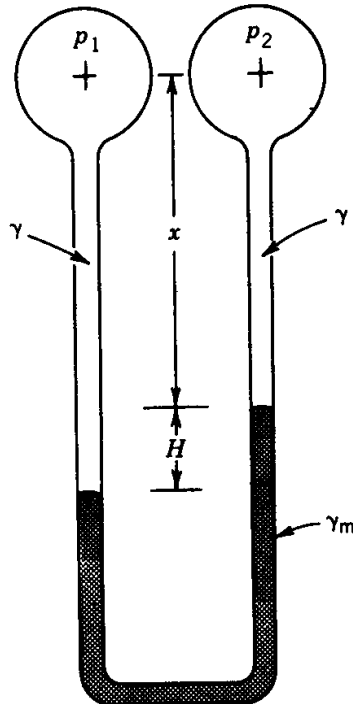
Buradaki ε_{λ} λ dalga boyunda yayılan enerjinin ideal siyah yüzey enerjisi enerji miktarına oranıdır. ε_{λ} dalga boyunun fonksiyonudur.

Buradaki ε tüm dalga boylarında yayılan toplam enerjinin ideal siyah yüzey tarafından tüm dalga boylarında yayılan enerji miktarına oranıdır. ε dalga boyunun fonksiyonu değildir. Sadece yüzeyin bir parametresidir.

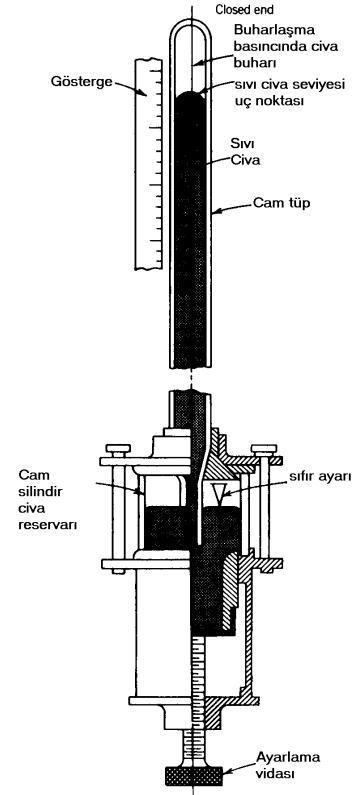
Bu bilgilerin ışığı altında radyasyon termometrelerinin çalışma prensibini anlayabiliriz. Eğer belli bir yüzeyden belli bir dalga boyunda, veya dalga boyu spektrumunda (örneğin ısı enerjisi spektrumunun tamamı veya bir kısmında), yada toplam olarak bütün dalga boyu spektrumunda gelen radyasyon enerjisini ölçebilirsek ve yüzeyin emisivite değerini biliyorsak veya ölçebiliyorsak o yüzeyin sıcaklığını .8...10 eşitlikleri yardımıyla hesaplayabiliriz. Eğer sadece belli bir dalga boyu aralığına bakıyorsak .8 in dalga boyu için entegrasyonu sadece bu dalga boyu için yapılır. Bu entegrasyon genelde tablolar ve bilgisayar programı yardımıyla hesaplanır. Yüzeye gelen enerji miktarının ölçülmesi yüzeye gelen fotonlara duyarlı ve gelen fotonların çarpmasıyla elektrik enerjisi üreten yarıiletken hücreler yardımıyla yapılır. Infrared bölgesinde ölçüm yapan hücreler soğutulularak enerji ölçme kapasiteleri arttırılır. Bu metodun en büyük avantajı ölçüm yapılacak yüzeye direk temas gerekliliğini ortadan kaldırmasıdır. Elektromanyetik radyasyona hassas hücrelerden oluşturulan bir matris networkuyla bu ölçüm yapılırsa sadece bir noktanın değil, bir yüzeyin sıcaklık haritası çıkarılabilir. Bu tür aygıtlara ısı (thermal) kamera adı verilmektedir.

2 BASINÇ ÖLÇÜM ALETLERİ VE TEKNİKLERİ

Temel anlamda basınç birim yüzey alanına gelen kuvvet olarak tanımlanabilir. Basınç birimi



kuvvet/yüzey olacağından $\text{Newton/m}^2 = (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)/\text{m}^2 = \text{N/m}^2$ dir.



Şekil 7 Sıvılı manometre

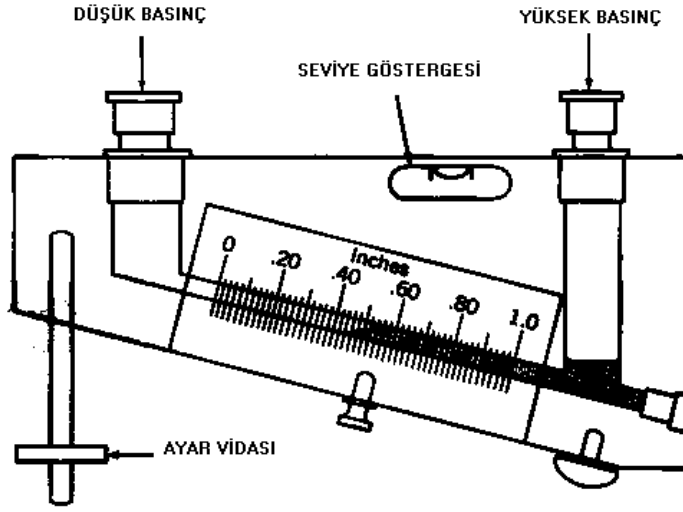
Şekil 8 Fortin tipi cıvalı barometre

Bu birime özel olarak Pascal (Pa) olarak adlandırırız. Pa çok küçük bir basınç birimi olduğundan genellikle katları kiloPascal(kPa), MegaPascal(MPa) ve bar(10^5 Pa) kullanılır. Bizim yaşadığımız ortam dünya yüzeyidir. Atmosfer kalın bir gaz tabakası olduğundan temas ettiği yüzeylere belli bir basınç uygular. Bu yüzden biz basıncı ya mutlak değer olarak ya da atmosfer basıncına göreceli olarak ölçeriz. Toplam basınç değerine mutlak basınç, bir basınç ölçerden atmosfer basıncına göreceli olarak ölçtüğümüz basınca da alet basıncı (ölçüm basıncı) adı verilir.

Mutlak Basınç = Alet Basıncı + Atmosfer basıncı

Standart atmosfer basıncı 101.325 kPa'dır. Hassas olmayan ölçümlerde bu değer atmosfer basıncı olarak kullanılabilir.

Elbette ki mutlak basıncı ölçmek için ayrıca atmosfer basıncını da ölçmek gerekir. Atmosfer basıncını ölçtüğümüz aletlere genel olarak barometre, atmosfere göre göreceli sistem basıncı ölçtüğümüz aletlere manometre adı verilir. Şekil .5 ve .6 bir cıvalı barometre ve sıvılı manometreyi göstermektedir.



Şekil 9 eğimli sıvı tipi manometre

Sıvılı manometreler ve barometreler, manometrenin iki u kolundaki toplam kuvvetlerin eşit olması prensibine dayanarak çalışırlar. Örneğin şekil .5 de gösterilen manometrenin sağ ve sol kolu için şu kuvvet eşitliğini yazabiliriz:

$$P_1 + \gamma H = P_2 + \gamma_m H E_b \quad (\text{Eşitlik .12})$$

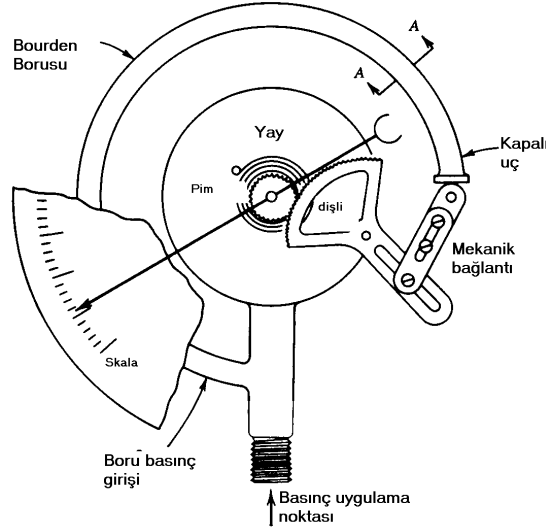
Bu denklemde $\gamma = \rho g$ $g=9.81 \text{ m/s}^2$ yerçekimi sabiti, ρ özgül ağırlıktır.

Sıvı tipi barometreyi ise bir tarafı sıvının buharlaşma basıncında gaz fazı bulunan diğer tarafı ise atmosfere açık bir manometre olarak düşünebiliriz. Bu yüzden bu tip bir barometrede atmosfer basıncı :

$$P_{\text{atmosfer}} = \gamma_{\text{sıvı}} H - P_{\text{gaz_buharlaşma}} \quad (\text{Eşitlik .13})$$

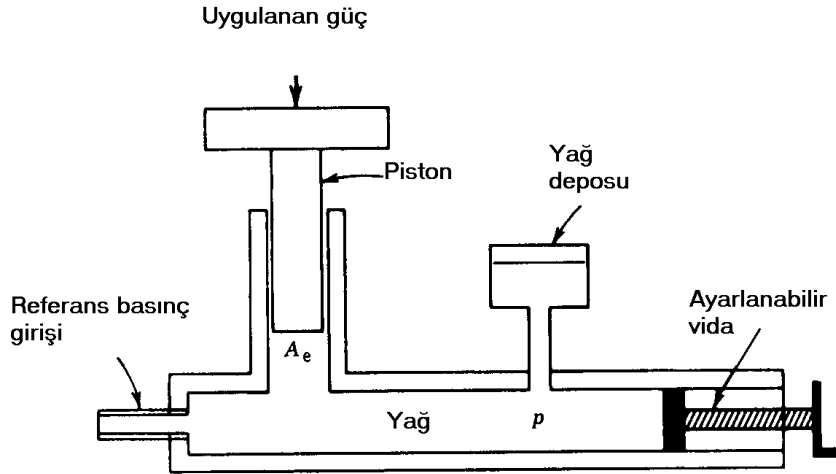
formülüyle hesaplanabilir.

Şekil .9 da görülen manometrede bir kol açıyla yerleştirilmiştir. Burada gaye çok küçük basınç değişimlerini kolaylıkla okuyabilmektir. Sıvıların dökülebilme olasılıkları bu tip manometrelerin günümüzde fabrikalarda kullanılmasını sınırlamıştır. Bu gün fabrikalarda basınç ölçümünde en fazla görülen manometre türü Bourden tipi borulu manometrelerdir. Bu manometrelerde bir ucu kapalı, dairesel eğim verilmiş bir boru bulunur. Basınç uygulandığında bu boru açılmaya çalışarak hareket eder. Bu hareket yay ve dişliler yardımıyla bir gösterici ekrana taşınır. Şekil .8 de bourden tipi bir manometre görülmektedir.



Şekil 10 Bourden tipi manometre

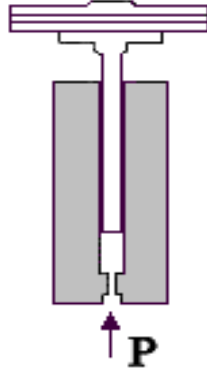
Bourden tipi manometreler hem kullanıcılarının kolay olması hem de ucuz olmaları sebebiyle en sık kullanılan basınç ölçüm sistemleri haline gelmişlerdir. Bu tip manometrelerin en büyük sorunu elastik kıvrık borudaki plastisite dolayısıyla kalibrasyonlarının bozulmasıdır. Periyodik olarak kalibrasyonları gerekir. Bu tür ve diğer tür manometrelerin kalibrasyonunda en çok ölü ağırlık test sistemi (dead weight tester) denilen kalibrasyon aracı kullanılır.



Şekil 11 pistonlu basınç ölçme sistemi

Pistonlu Basınç Ölçerler

Pistonlu basınç ölçerlerin ana elemanı olan piston silindir ünitesinin şematik çizimi Şekil 2.3' de gösterilmiştir. Sistemin çalışma prensibini kısaca açıklayacak olursak: Yüzeyi çok iyi işlenmiş A_{eff} efektif alanına sahip pistonun altına uygulanan akışkan basıncı, akışkan içerisinde serbestçe yüzen piston üzerindeki F kuvvetiyle dengede olduğu zaman oluşturulan basınç; $p = F / A_{eff}$ 'e eşit olur.

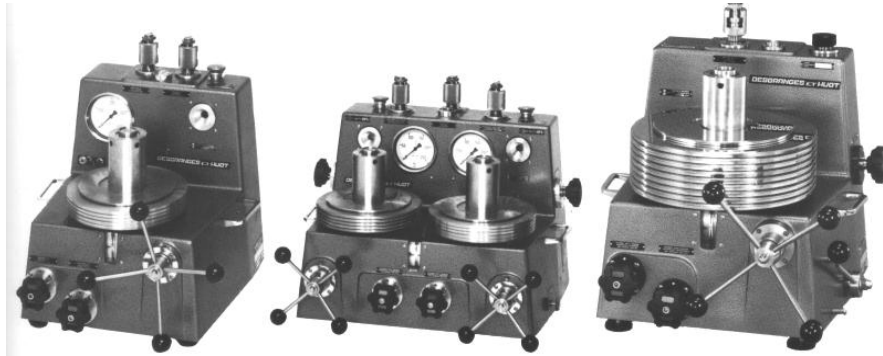


Şekil 12. Basit tip piston silindir

Pistonlu basınç ölçerlerde, pistonun altına uygulanan akışkan basıncı, yağ veya gaz kullanılarak oluşturulabilir. Kullanılan akışkan türüne göre pistonlu basınç ölçerler ikiye ayrılabilir:

- Hidrolik Pistonlu Basınç Ölçerler
- Pnömatik Pistonlu Basınç Ölçerler

Hidrolik pistonlu basınç ölçerler yüksek ve çok yüksek basınçlarda, pnömatik pistonlu basınç ölçerler ise atmosfer basıncında ve yüksek basınç aralığındaki düşük basınçlarda kullanılmaktadır. Hidrolik sistemlerde ticari olarak satılanlarda 1.3 GPa basınca, özel amaçlı kullanılanlarda ise 2.6 GPa basınca ulaşılabilir (Şekil 2.4.).



Şekil 13 Hidrolik ve Pnömatik Pistonlu Basınç Standartları

Hidrolik cihazlarda atmosferik basıncın referans olarak alındığı gauge ve fark basıncı ölçümleri yapılırken, pnömatik cihazlarda hem gauge hem de mutlak basınç ölçümleri yapılmaktadır. Mutlak basınç ölçümü yapan sistemlerde, piston silindir ünitesi ve üzerindeki kütleler cam fanus içerisinde alınarak vakum pompaları ile içerideki hava alınır (Şekil 2.5.).



Şekil 14 Pnömatik Pistonlu Mutlak Basınç Standardı

Tüm pistonlu basınç standartlarında, basıncı dengeleyen kuvvet, akışkan içerisinde serbestçe yüzen piston üzerindeki kütleler ile (bu kütlelere pistonun ağırlığı da dahildir) oluşturulur. Yüksek doğruluğa ulaşabilmek için piston silindir arasındaki temas ve sürtünmenin minimize edilmesi gerekir. Bir çok sistemde bu etkileri minimize edecek kuvvetler, silindir sabit kalmak üzere piston ve üzerindeki kütlelerin döndürülmesi ile sağlanmıştır. Döndürme ile oluşan kuvvetler, pistonun silindir içerisinde merkezde durmasını sağlar. Ayrıca, piston ve silindir arasındaki ortam akışkanının, pistonun altındaki yüksek basınçtan üstteki alçak basınca doğru yaptığı yavaş akış ile oluşan yağlama filmini de muhafaza eder. Sistemin performansının iyi olabilmesi için piston ve silindirlerin düzgün, yüzeyinin iyi işlenmiş, kesitlerinin daireye çok yakın olması ve aralarındaki toleransın birkaç mikron (veya daha düşük) olması gerekir. Bu nitelikler özellikle pistonun ve silindirin iyi bir şekilde temizlenmesine ihtiyaç duyulan ve yağdan veya parçacık kirlenmesinden arındırılmış gazların kullanıldığı pnömatik ve gaz yağlamalı sistemler için önemlidir.

Pistonlu basınç standartları kullanılarak oluşturulan basınç üzerindeki belirsizlik değeri; yerçekimi ivmesi, kütleler, efektif alan ve mutlak basınç ölçümünde referans basınç üzerindeki belirsizlik değerleri göz önünde tutularak hesaplanır.

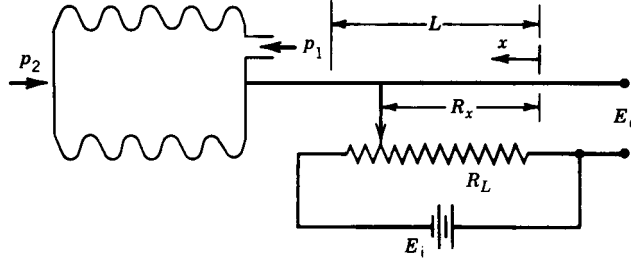
Bu araçta ölçülecek manometre referans giriş bölümüne bağlanır. Pistonun kendinin bir ağırlığı vardır. Bu ağırlığın üzerine biline miktarda ağırlıklar ilave edilir ve pistonun statik sürtünme yükü taşınması engellenmek için döndürülür ve manometrenin okuduğu değer kaydedilir. Basınç artırılır, piston ayarlanabilir vida yardımıyla aynı konumda tutulur. Pistonun alanı bilindiğinden uygulanan basınç her zaman bilinmektedir. Manometrenin okuduğu basınç kalibrasyonda uygulanan basınçla kalibre edilir.

$$P_{\text{manometre}} = P_{\text{ölü ağırlık test sistemi}} = m g A_e$$

(Eşitlik .14)

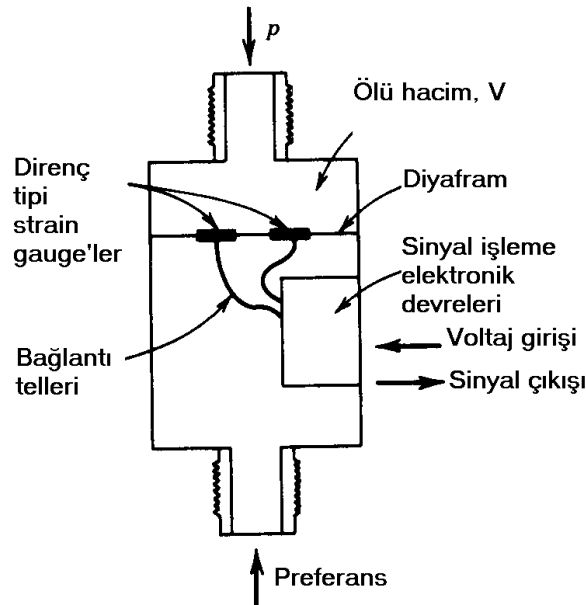
Basınç transduserları

ŞE 8.11 Potentiometer transducer



Şekil 15 Patansiyometreli transduser

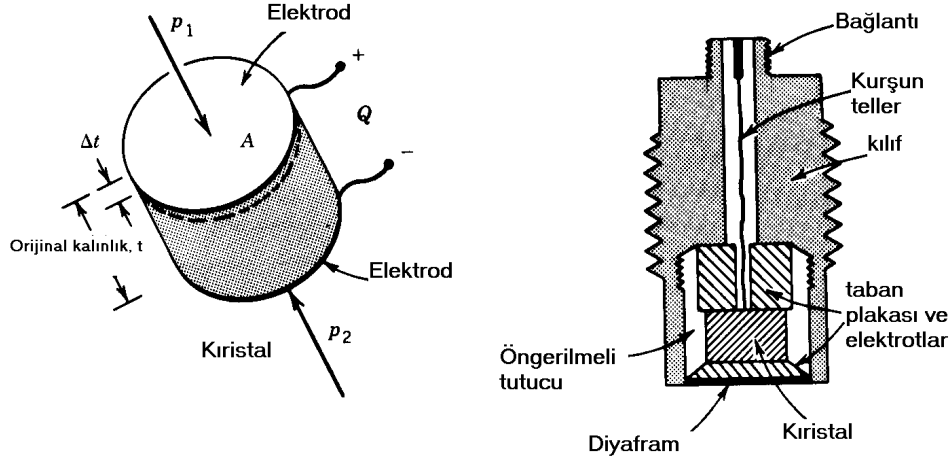
Modern fabrikalarda tüm basınç değerleri gözle ölçülmez. Otomasyon uygulamalarının artması, basınç değerlerinin bilgisayarlara direk olarak okunmasını zorunlu kılmaktadır. Basınç transduserlarında basınç değeri elektrik gerilimi veya akımına dönüştürülerek iletilir. Bu tür aygıtların en basiti şekil .10 da görülen potansiyometreli transducer sistemidir. Burada ince bir cidarı olan esnek gövdeli kabın bir ucundan basınç uygulanır. Basınç altında kabın boyu uzar ve potansiyometre çubuğunu hareket ettirir ve direnci değiştirir. Devrenin voltaj değeri dış okuyucuya gönderilir.



Şekil 16 Strain gauge'li transduser

Diğer bir transducer şekil .11 de görülen strain gauge'li transducerlardır. Bu transduserda içerde bulunan bir diyaframın üzerine strain gauge ler yerleştirilmiştir. Diyafram basınç değişimi nedeniyle gerildiğinde strain gauge'ler belli bir elektrik akımı oluşturur. Bu akımın voltaj değeri basınçla orantılıdır.

Piezelektrik kristaller bilhassa dinamik basınçların ölçülmesinde oldukça başarılı sistemlerdir. Bir piezelektrik kristaline uygulanan basınç değiştiğinde bu değişimle orantılı bir elektrik gerilimi oluşur. Şekil .12 de bir piezelektrik basınç transduseri görülmektedir.



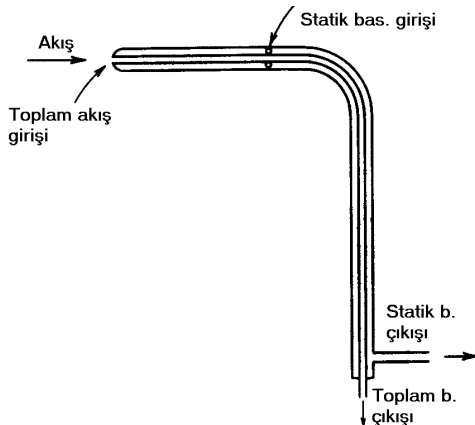
Şekil 17 Piezelektrik transduser

3 AKIŞ VE HIZ ÖLÇÜM ALETLERİ VE TEKNİKLERİ

Akış ölçümlerinde kullanılan en temel metot akıştaki dinamik ve statik basınçları ölçmektir. Akan bir akışkanın aynı akış hattı üzerindeki iki noktadaki basıncı:

$$P_1 + \rho U_1^2/(2g) = P_2 + \rho U_2^2/(2g) = P_{\text{dinamik}} \quad (\text{Eşitlik .15})$$

Olarak gösterilebilir. Bu denklemden de görüleceği gibi akış hattı boyunca statik basınç ve hız değişebilmekte fakat dinamik basınç sabit kalmaktadır. Dinamik basınç pitot tüpü veya kiel probu denilen aygıtlarla ölçülebilir. Burada temel prensip akış yönüne dik olan ve ucu direk olarak bir basınç ölçere bağlanan ince boruların kullanılmasıdır. Eğer aynı noktada akışa dik olarak basınç ölçülebilirse, bu da bize statik basıncı verir. Bu iki değer hızın direk olarak hesaplanmasını sağlar. Şekil .13 de bir pitot-statik borusu görülmektedir.



Şekil .18 Pitot-statik tüp hız ölçüm sistemi

Eşitlik .15 de basınç değişiminin çok fazla olmadığı varsayılmaktadır. Basınç düşümünün fazla olduğu akışlara sıkıştırılabilir akışlar denir (gazlar için). Bu akışlar için eşitlik

$$P_{\text{dinamik}} = P + \rho U^2 / (2g) * [1 + M^2/4 + (2-k)M^4/24 + \dots] \quad (\text{Eşitlik .16})$$

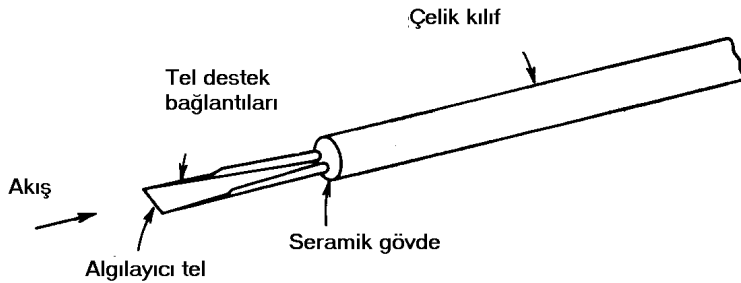
Bu eşitlikte $k=C_p/C_v$ adyabatik sabit , $M=U/a$ mach sayısı, $a = (kRTg)^{1/2}$ ses hızı, R gaz sabiti, T sıcaklık, g yerçekimi ivmesidir. Denklemdaki M ve U ikisi de hız terimleri olduğundan denklem non-lineerdir.

Diğer bir hız ölçüm yöntemi ise ısıl(termal) anemometri yöntemidir. Termal anemometri daha önce sıcaklık ölçümlerinde gördüğümüz bir direnç termometresi (RTD) içerir. Bu tür termometrede sıcaklık direnç ilişkisi Eşitlik .6'da verilmişti. Termal anemometrede direnç termometresinden telin sıcaklığını sabit, fakat akan gaz sıcaklığının üzerinde tutacak bir akım geçirilir. Sistem ısıl dengeye geldiğinde oluşan ısı enerjisi akan gaz tarafından ısı enerjisi olarak alınıyor demektir. Bu durumda ısı transferi ve hız arasında

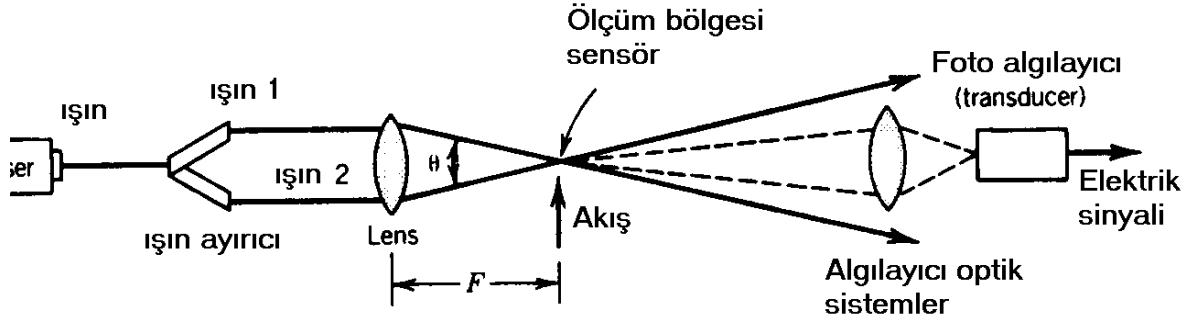
$$Q = I^2 R = A + B U^n \quad (\text{Eşitlik .17})$$

eşitliği mevcuttur. Bu eşitlikte Q ısı transferi, I telden geçen akımı A,B ve n telin geometrisine bağlı sabitler olup değerleri kalibrasyon metotlarıyla tespit edilebilir. Şekil.13 de termal anemometrenin şekli görülmektedir.

Diğer bir hız ölçme yöntemi de dopler anemometredir. Dopler etkisi radarların temel çalışma prensibini oluşturan etkidir. Belirli frekanstaki bir sinyal hareket eden bir cisme çarptığında yansımada cismin hızına göre frekansta belli bir değişme olur. Bu değişimden cismin hızı ölçülebilir. Aynı prensip akışkanların hızını ölçmek için de kullanılabilir. Şekil .15 de lazer dopler anemometresinin şekli ve çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil .19 Isıl(termal) anemometre



Şekil .20 Lazer dopler anemometresi

Burada akışkan hızıyla Dopler frekansı arasında

$$U = \lambda / [2 \sin(\theta / 2)] * f_D \quad (\text{Eşitlik .18})$$

burada λ kullanılan lazerin dalga boyu, θ şekilden de görüldüğü gibi sistemdeki merceğin kırma açısı ve f_D ölçülen dopler frekansıdır. Belli bir lazer dopler anemometresi için f_D haricindeki diğer değerler sabittir.

Yukarda verilen hız ölçüm metodlarıyla belirli bir akıştaki hız değişimlerini belirleyebiliriz. Eğer gayemiz sadece bir borudan akan ortalama hızları veya debileri belirlemekse daha değişik yöntemler de kullanılabilir. Boru içi akışlarda ortalama hızlar için bernoulli denklemi yazılabilir.

$$P_1 / (\rho g) + U_1 / (2g) = P_2 / (\rho g) + U_2 / (2g) + h_{L\ 1-2} \quad (\text{Eşitlik .19})$$

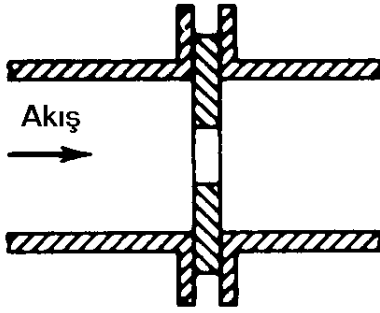
Eşitlikteki $h_{L\ 1-2}$ sürtünmelerden doğan basınç kayıplarıdır. İki nokta arasında potansiyel farkı olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca boru içine herhangi bir çap değiştirici sistem koyarsak akış bu sistemi geçerken hala aynı değeri korur fakat hız ve basınç değişir.

$$Q = U_1 A_1 = U_2 A_2 \quad (\text{Eşitlik .20})$$

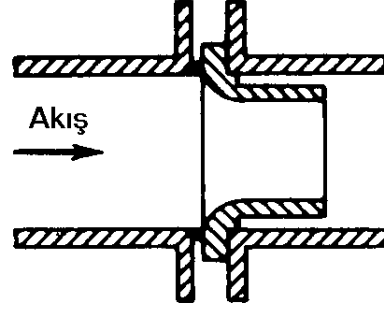
Q hacimsel debi adını alır.

Bu iki denklem bir arada çözülürse

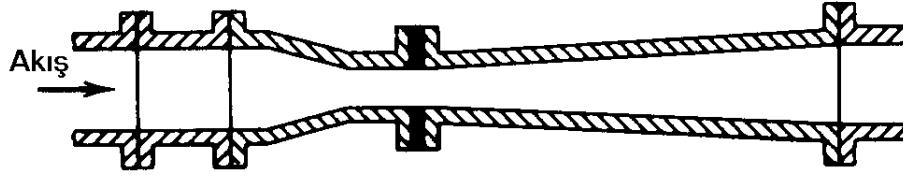
$$Q = K_0 A_1 [2(P_2 - P_1) / \rho]^{1/2} \quad (\text{Eşitlik .21})$$



a) Düz kenarlı orifis metre



(b) ASME uzun çaplı lüle



(c) ASME Herschel ventüri metre

Şekil .21 kısıtlandırılmış boru ölçüm sistemleri

Buradaki A_1 boru çapı, K_0 kayıp katsayısıdır.

Çap değiştirici sistemlere örnek olarak orifis metreler, venturi metreler v uzun çaplı lüleler verilebilir. Şekil .16 da bu aygıtlar gösterilmiştir.

Düz kenarlı orifis metre için K_0 katsayısı (SI birim sisteminde)

$$K_0 = \frac{1}{(1-\beta^4)^{1/2}} [0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 2.286d_1^{-1}\beta^4(1-\beta^4)^{-1} - 0.8560 d_1^1\beta^3 + 91.71\beta^{2.5}Re_{d1}^{-0.75}] \quad (\text{Eşitlik .22})$$

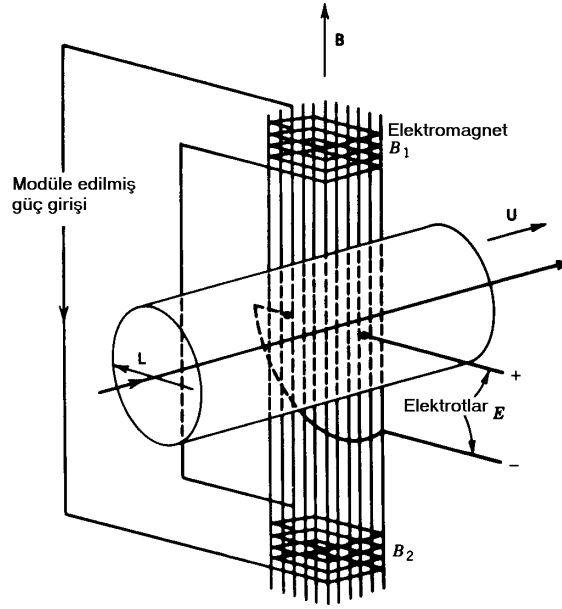
formülüyle hesaplanabilir. Burada $\beta = d_2/d_1 = (A_2/A_1)^{1/2}$ orifis çapının boru çapına oranı, Re_{d1} borunun Reynolds sayısıdır. Şüphesiz Re debin, n fonksiyonu olduğundan deneme yanılma metodunun uygulanması gerekebilir.

Son yıllarda elektromanyetik akış ölçüm sistemleri alış ölçümünde önemli bir er kazanmıştır. Bunun başlıca sebebi bu sistemlerle akışa direk olarak ulaşmadan akışın tespitinin mümkün olmasıdır. Ölçümün temel prensibi manyetik alan içinde akan bir akışkanın manyetik alan kuvveti ve hızla orantılı bir akım oluşturmasıdır. B manyetik alanından U hızıyla L boyu boyunca akan bir sıvı

$$E = U \cdot B \cdot L \quad (\text{Eşitlik .23})$$

voltajını oluşturur. Bu voltaj ölçülerek hız bulunabilir.

Şekil .22 de bu tür bir akış ölçerin çalışma prensibi görülmektedir.

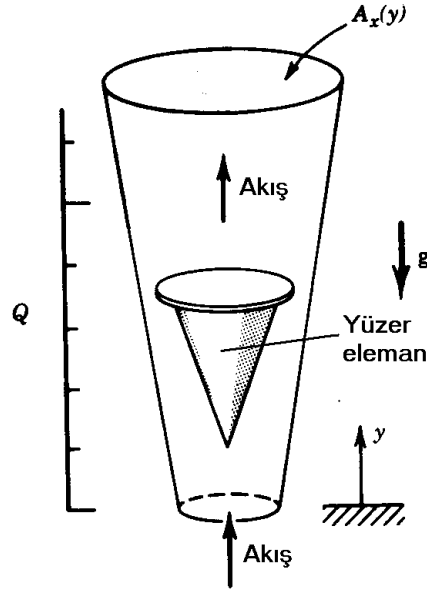


Şekil .22 Elektromanyetik debi ölçerlerin çalışma prensibi

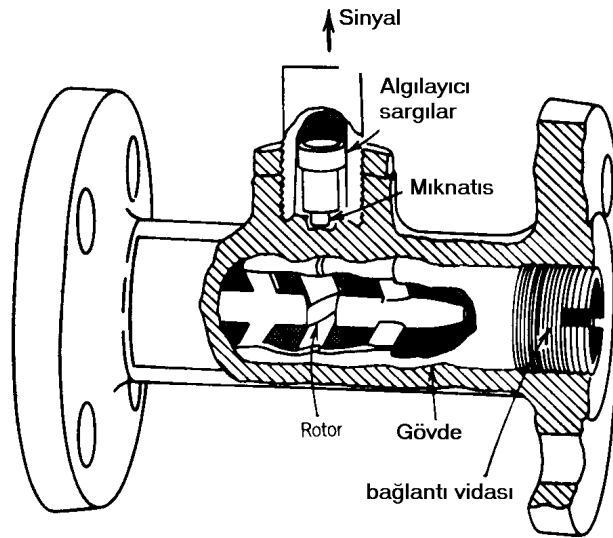
Vorteks akış ölçerlerde akış ölçümünde kullanılan diğer sistemlerdir. Vorteks debi ölçümünde borunun içine türbülans oluşturacak bir şekil yerleştirilir. Akış bu şekil üzerinden geçerken oluşturduğu türbülans borunun dışından bir ses dinleme sistemiyle kaydedilir. Ses akış oranıyla orantılıdır. Bu tür akış ölçerler Re sayısı 10000 nin üzerindeki akışlarda kullanılır.

Rotametreler de basit ve ucuz akış ölçüm sistemleridir. Temel olarak konik bir boru içine yerleştirilmiş genelde konik yapıya sahip bir elemandan oluşur. Akışkan sistemin altından girerek yukarıya doğru akar ve içteki hareketli konik parçayı yukarıya doğru iter. Dış boru çapı değişken olduğundan yüzer parça borunun belli bir noktasında akışın uyguladığı kuvvetle denge haline gelir ve durur. Yüzer parçanın durduğu nokta bize akış oranını verir. Şekil .23 de bu tür bir akış ölçer görülmektedir.

Türbin tipi akış ölçerlerde boru içine döner kanatlı bir türbin yerleştirilir. Türbinin dönme hızı direkt olarak akış oranıyla bağıntılıdır. Bu hız çeşitli metotlarla saptanarak akış hızı bulunabilir. Şekil .19 da türbin türü bir akış ölçer görülmektedir. Pervaneli anemetreler de bu tür akış ölçerlerin örneklerindendir.



Şekil .23 Rotometre tipi akış ölçer



Şekil .24 Türbin tipi akış ölçer

Toplam kütesel debi ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir araçta corrollois tipi debi ölçerdir. Bu sistemde temel olarak dönen bir sıvının uyguladığı merkezkaç kuvvetten yararlanılır.

Açık kanallı akışlarda debi ölçümünde savaklardan yararlanılır. Savak genel olarak V şeklinde bir akış kapısı olup akan sıvının debisine göre sıvının savaktaki yüksekliği değişir.

Bunların dışında daha birçok değişik ölçüm teknikleri mevcuttur. Burada sadece temel prensipler ve en çok kullanılan bazı metotlar hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

.4 YAŞ HAVADAN BAĞIL NEM ÖLÇÜLMESİ

Bağıl nem ölçülmesinde en fazla kullanılan metot yaş termometre ve kuru termometre sıcaklığının saptanması ve bu değer kullanılarak enerji dengesinden nem miktarının hesaplanmasıdır. Metodun esası orijinal hava su karışımının (yaş havanın) sıcaklığının ölçülmesi ve sonra çok uzun bir su havuzunun üzerinden geçirerek nem miktarının %100 e (buharlaşma durumuna) getirilmesine dayanmaktadır. Gerçek uygulamalarda su havuzu bulunamayacağından bu şart etrafı neme doymuş bulunan ikinci bir termometreden sıcaklığı okuyarak yaklaşılr(gerçekte bu adyabatik durumu tam yansıtmaz) . Giriş havasına (orijinal yaş hava) 1, çıkıştaki 100% nemli doymuş havaya 2 dersek havanın mutlak nem miktarı

$$\omega_1 = [C_{pa}(T_2-T_1)+(0.622*P_{g2}/(P- P_{g2}))*h_{fg2}]/(h_{v1} - h_{f2}) \quad (\text{Eşitlik .24})$$

formülünden hesaplanabilir.

Buradaki C_{pa} kuru havanın özgül ısısı, T_2 yaş termometre sıcaklığı, T_1 kuru termometre sıcaklığı, P_{g2} 100% nemli doymuş havanın içindeki su buharının bağıl basıncı (doymuş su buharının T_2 sıcaklığındaki buharlaşma basıncı) , h_{fg2} 100% nemli doymuş havanın içindeki su buharının (doymuş buharın) ve aynı şartlardaki suyun entalpilerinin farkı veya diğer bir deyimle T_2 sıcaklığındaki suyun kaynama entalpisidir. h_{v1} T_1 sıcaklığındaki ve P_{v1} basıncındaki suyun entalpisidir. bu entalpi değeri yerine aynı sıcaklıktaki kaynamakta olan suyun entalpisi (h_{g1}) alınarak yaklaşım yapılabilir. h_{f2} 100% nemli doymuş hava şartlarında kaynamakta olan sıvı suyun entalpisidir. Su ile ilgili entalpi değerleri buhar tablolarından bulunabilir. Bu formülü daha açabilmek için küçük bir örnek probleme bakalım

Örnek 20.1.1 : 1 bar basıncında havanın kuru termometre sıcaklığı 24°C ve yaş termometre sıcaklığı 16°C dir. Havanın mutlak nemini ve bağıl nemini hesaplayınız.

$$C_{pa}=1 \text{ KJ/kgK}$$

$$P_{g2}(16^{\circ}\text{C})=0.01818 \text{ bar}$$

$$h_{fg}(16^{\circ}\text{C})=2463.6 \text{ KJ/kg}$$

$$h_{v1}(24^{\circ}\text{C})=2545.4 \text{ KJ/kg}$$

$$h_{f2}(16^{\circ}\text{C})=67.2 \text{ KJ/kg}$$

$$\omega_1 = [1*(24-16)+(0.0622*0.01818/(1-0.01818))*2463.6]/(2545.4-67.2)$$

$$\omega_1 = 0.0082 \text{ kg su buharı/kg kuru hava} = 0.622 * P_{v1}/(P - P_{v1})$$

$$P_{v1} = 0.0130 \text{ bar}$$

$$P_{g1}(24^{\circ}\text{C}) = 0.02985 \text{ bar (24 }^{\circ}\text{C de doymuş buharın buharlaşma basıncı)}$$

$$\text{Bağıl nem} = \phi = P_{v1}/ P_{g1} = 0.0130/0.02985 = 0.436 = \% 43.6$$

Yukarıda verdiğimiz formül psikometrik diyagram olarak da bulunabilir. Bu formülün verildiği bir bilgisayar programı, <http://me.ege.edu.tr/~turhan> adresinden çekilebilir veya bu adreste kullanılabilir. Bu işlemleri tamamen elektronik ortamda yapan ve sonucu volt olarak veya dijital çıktı olarak gönderen aletlerde piyasada mevcuttur. Nem ölçerleri guruplara ayıracak olursak kalibrasyonda kullanılan nem ölçerler :

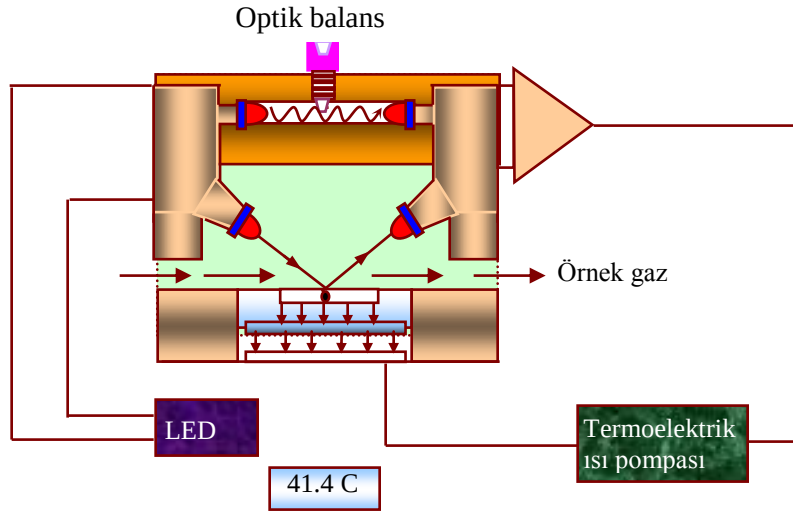
1. Çiy Noktası Ölçer (Dew point meter)

2. Empedans, Direnç Sensörlü Nem Ölçer (Hygrometer)
3. Mekanik Nem Ölçer
4. Islak/Kuru Hazneli Nem Ölçer (Wet/Dry Bulb Aspirated Hygrometer veya Psychrometer)
5. Alüminyum/Seramik Oksit Sensörler

Bunlara kısaca bir göz atalım:

1 Çiy Noktası Ölçer

Çiy noktası ölçer “yoğunlaşma aynasında optiksel yöntemle detekte etme” (optically detected chilled mirror) tekniğini kullanarak ölçümleri gerçekleştirir.



Şekil 1. Yoğunlaşma Aynası Çiy Noktası Ölçerlerin Genel Çalışma Prensibi

Yoğunlaşma aynasında optiksel yöntemle detekte etme tekniğini kullanarak yapılan ölçümlerde herhangi bir gazın çiy veya kırağı noktası sıcaklığı ölçülür. Işık, cilalanmış metal yüzey (ayna) üzerine düşer. Bu yüzeyin sıcaklığı, termoelektrik ısı pompası olarak bilinen Peltier tarafından kontrol edilir. Işığa hassas bir alıcı ile yansıyan ışığın yoğunluğu ölçülür. Ayna yüzeyi temiz ve kuru olduğunda yansıyan ışığın yoğunluğu maksimumdur. Tam tersine yüzey soğutularak suyun yoğunlaşması sağlandığında ise ışık dağınık ve daha az ışık yansır. Böylece ışık ve sinyal yoğunluğu da azalır. Bu alınan ışık sinyali, geri besleme olarak kullanılarak, yoğunlaşan tabakanın kalınlığı sabit oluncaya kadar ayna yüzeyi soğutulur. Sabit kalınlıktaki yoğunlaşmış tabaka, aynayı çevreleyen gaz ile dengededir. Bu denge durumunda, gazın çiy veya kırağı noktası sıcaklığı, ayna sıcaklığı ölçülerek belirlenir. Eğer yoğunlaşma sıvı haldeyse, ölçülen ayna sıcaklığı çiy noktası sıcaklığıdır. Eğer yoğunlaşma buz veya kırağı gibi katı haldeyse, ölçülen ayna sıcaklığı kırağı noktası sıcaklığıdır. Belirsizlikleri 0.2 °C DP ile 1.0 °C DP arasındadır. [2]

2 Empedans, Direnç Sensörlü Nem Ölçer (Hygrometer)

Bu tip sensörler su moleküllerini emerek bunu elektriksel değişim olarak algılayan su tutucu (hygroscopic) materyallerden yapılmaktadır. Bu tür nem ölçüm sensörleri elektriksel empedans, direnç veya her ikisini de kullanan yöntemlerle dizayn edilirler. Empedans sensörler bağıl neme

çiy noktasından daha iyi yanıt verirler. Genelde bu tip sensörler %100 bağıl nem değerinde zarar görmezler ama bunun sonucunda kalibrasyon sonuçları değişebilir. Direnç sensörler de bağıl neme çiy noktasından daha iyi yanıt verirler. Yüksek bağıl nem değerlerinde doğruluğu iyidir. Ancak yoğunlaşmayı tolere etmezler ve zarar görebilirler. Bu yüzden yoğunlaşmayı önlemek amacıyla ek donanımları vardır. Belirsizlikleri % 2 RH ile % 3 RH aralığındadır.

3 Mekanik Nem Ölçer

Mekanik nem ölçerler, nem ile genleşen veya büzüşen organik materyalleri kullanarak ölçüm yaparlar. Algılayıcı eleman insan saçı, tekstil ürünü veya plastik olabilir. Uzunluktaki değişimin genliği arttırılarak grafik üzerindeki kaleme iletilir. Bu tip cihazlar ucuzdur, elektriksel güce ve bataryaya gerek duymaz ve sürekli kayıt yapıldığında kayıtları saklama kolaylığı vardır. Fakat nem değişimini yavaş algılar, histeresis gözlenir ve taşınma sırasında kolayca bozulabilirler. Bu nedenlerden dolayı kalibrasyon ve izlenebilirlik için uygun değildir. Belirsizlikleri % 5 RH ile % 10 RH aralığındadır.

4 Alüminyum/Seramik Oksit Sensörler

Sensörün aktif elementi, alüminyum oksit, diğer metallerin oksitleri veya silikon bazlıdır. Bu tip sensörler su buharının kısmi basıncını algırlar. Başka bir deyişle sensör empedans değeri, su buhar basıncı değeri ile ilişkilidir. Bu sensörlerin genelde yoğunlaşma toleransı iyidir ve geniş bir ölçüm aralığına sahiptirler. Fakat çok düşük mutlak nem ölçümlerinde dengeye gelmesi yavaştır ve kaymaya eğilimlidir. Yüksek sıcaklık ve yüksek nem ölçümlerinde kullanıldıkları takdirde ise kalibrasyon değerlerinde kayma meydana gelebilir. Ayrıca aşındırıcı kimyasallardan zarar görebilirler. Bu tip cihazlar mutlak nem ölçümlerinde kullanılır. Ayrıca düşük nem değerlerinin ölçülmesinde, kuru gazların kontrol ve izlenmesinde kullanılırlar. Çiy noktası ölçerlerin belirsizliği 2 °C, düşük çiy noktası değerlerinde ise en iyi 5 °C dir. [3]

a. Islak/Kuru Hazneli Nem Ölçer (Wet/Dry Bulb Aspirated Hygrometer / Psychrometer)

Islak-kuru hazneli nem ölçerler, iki eş termometre ve hava akımını sağlayan bir pervaneden meydana gelir. Havanın kuru-hazne sıcaklığı hava ile doğrudan temas halindeki bir termometre ile ölçülür. Bu termometre dışardan gelebilecek radyasyon (güneş ışığı, lamba v.b.) ve nemden etkilenmeyecek şekilde korunmuştur. Termometrenin diğeri ise sensörü (cıva haznesi), devamlı ıslaklığı sağlayacak bir fitil (pamuklu kumaş) ile çevrelenmiştir. Tepe kısmında bulunan pervane çalıştırılarak ıslak termometre soğutulur. Islak-hazne sıcaklığı, pervane ile soğutulma sonucunda elde edilen sıcaklık değeridir. Islak termometrenin okuduğu sıcaklık ile ısıtılmamış, normal ortam sıcaklığını okuyan termometre sıcaklığı kullanılarak bağıl nem değeri elde edilir.

Ölçümler, suyun saflığına, fitilin temizliğine, pervane hızına, radyasyon etkilerine, sıcaklık sensörünün doğruluğuna ve gazın yoğunluk, akışkanlık ve ısı iletkenliğine bağlıdır.

6 BOYUT ÖLÇÜMLERİ.

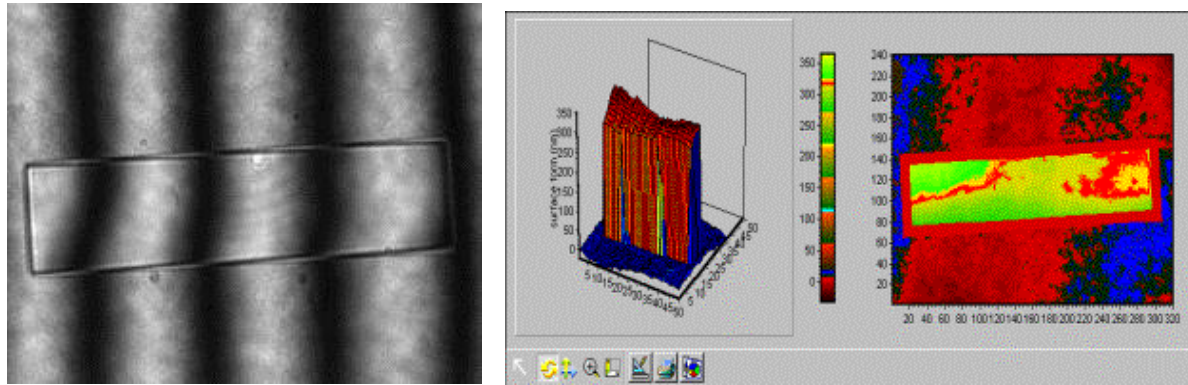
Master Bloğu ve İnterferometrik Uzunluk Ölçümleri :

İnterferometrik yöntemde, malzemelerin uzunluğu, uluslararası kabul edilen dalga boyu standartları ile direkt karşılaştırılarak tespit edilir. Bu işlem uzunluk değerinin, SI birimi metrenin tanımında belirtildiği şekilde BIPM tarafından yayınlanan rehber dokumanda uygun görülen

oluşturma yöntemini kullanarak ölçölmesini sağlar. İnterferometrik yöntemle, parça boyunca geğirilen lazerin dalga boyları sayılarak ve kúsarat kısımları interpolasyona tabi tutularak, metre mertebelerinden nanometre mertebelerine kadar geniş bir ölçme aralığında çok hassas bir şekilde ölçüm yapılabilir.



Şekil 1. Master Bloğu Lazer İnterferometresi



Şekil 2. Master Bloğu İnterferometrik ölçümü

- **Master Blokları**

Master bloklarının kalibrasyonları interferometrik yöntemle yapılabilir. 300mm'ye kadar uzunluğa sahip master bloklarının kalibrasyonlarında otomatik ölçüm yapan master bloğu interferometresi , Şekil 1 de görölmektedir. Bu cihaz kararlı frekansa sahip iki adet He-Ne lazerin yüksek doğrulukla bilinen dalga boylarını kullanarak ölçüm yapmaktadır (Şekil 2.).

Şekil 4 de 300 ile 1000 mm arası uzunluğa sahip master bloklarının kalibrasyonları, yüksek doğrulukla yapabilen uzun master bloğu komparatörü görölmektedir.

Master bloğu komparatörleri (Şekil 3-4.) de görölmektedir.



Şekil 3. Kısa master bloğu komparatörü



Şekil 4. 1m lik master bloğu komparatörü

- **Laser interferometreleri**

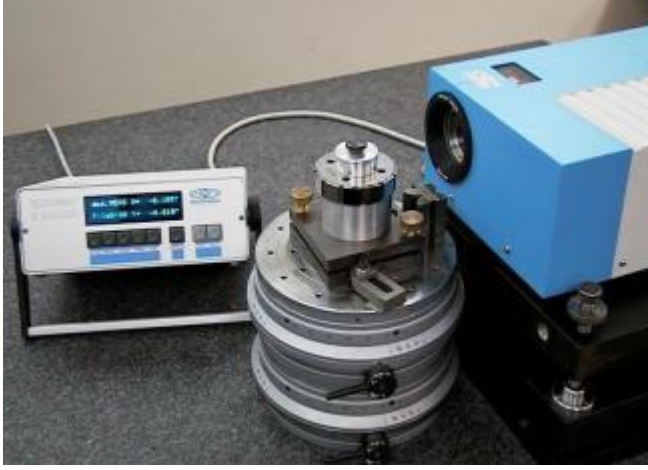
Laser interferometreleri endüstride çok geniş uygulama alanlarında kullanılır; örneğin, CMM ölçme cihazlarının, CNC tezgahların kalibrasyonunda, çeşitli büyüklükte uzunluk ölçümlerinde bu cihazlardan faydalanılmaktadır. İzlenebilirliğin sağlanabilmesi için Laser interferometrelerinin kalibrasyonlarının yapılması gerekir. Bu amaçla, laser interferometrenin ışık kaynağından çıkan ışın demeti ile metre standardı referans laserin (iodine ile kararlı hale getirilmiş) ışını üst üste çakıştırılır. Üst üste çakıştırılan ışınlar arasındaki frekans farkı (fotodiyod çıkışında beat sinyali olarak görünen) opto-elektronik cihazlarla ölçülür. Bu şekilde, kalibrasyonu yapılan laserin frekans değeri (diğer bir değişle dalga boyu) tespit edilmiş olur.

Açı :

Açının SI birimi radyandır (rad) ve bir çemberde uzunluğu yarıçapa eşit yayın merkezle yaptığı açı olarak tanımlanır. Endüstride derece (°)de açı birimi olarak ölçümlerde kullanılır. Bir çemberin 360'a bölünmesi ile elde edilir, bir derece 2π radyandır. Bir derece 60 dakikaya (') ve bir dakika 60 saniyeye (") bölünmüştür.

Açı için birinci seviye standart yoktur. Bir tam çemberi mümkün olan en iyi şekilde eşit parçalara bölerek açı birimi elde edilir. Bu işlem self-kalibrasyon metodu ile yapılır. Self-kalibrasyon

metodu için gerekli cihazlar, tekrarlanabilirliği yüksek açı ölçüm tablası, küçük açı sapmalarını ölçebilen otokolimatör gibi açı ölçme cihazlarıdır.



Şekil 5. Poligon Kalibrasyonu

Şekil 5 te açı ölçüm standartları, Moore Tool Sirketi tarafından üretilmiş 1440 index tabla Meller-Wödel üretimi yüksek çözünürlüklü otokolimatör (Elkomat HR2000) görülmektedir. Index tablanın tekrarlanabilirliği 0.1 ve çözünürlüğü 15 dir. Otokolimatörün çözünürlüğü 0.005 ve doğruluğu 0.05 dir. Bahsedilen açı ölçüm sistemleri ile self-kalibrasyon tekniği kullanılarak, yüksek doğrulukta poligon, , indeks tabla, şaft enkoderleri kalibrasyonları yapılabilir. Bu şekilde kalibrasyonu yapılmış indeks tablaları kullanarak da açı master blokları, açı interferometresi kalibrasyonları gerçekleştirilir.

Açı, uzunluk ölçümlerinden elde edilen boyutlara trigonometrik hesaplama uygulayarak da elde edilebilir. Sinus bar veya benzer bir cihazla, su terazisi veya elektronik terazi kalibrasyonları için küçük açılar üretilebilir. Şekil 6 da 1m'lik bir sinus bar görülmektedir. 1m'lik Sinüs bar, levelmetrelerin kalibrasyonunda direkt olarak ya da otokolimatör bağlantısı yapılarak kullanılabilir.



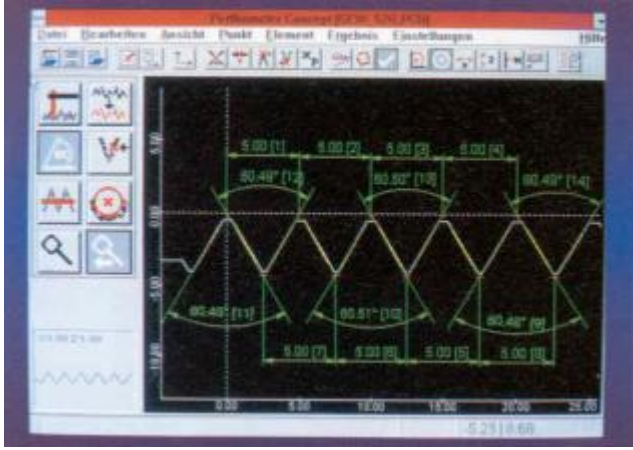
Şekil 6. Su terazisi kalibratörü, sinüs bar

Pürüzlülük Ölçümleri (Yüzey Yapısı)



Şekil 7. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Yüzey yapısı, parçanın mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Parçanın üzerinde istenilen yüzey yapısı, uygun üretim işleminin seçilmesi ve uygulanmasıyla elde edilir. Bu yolla üretici, sürtünme, aşınma, sızdırmazlık, metal yorgunluğu, yüzeylerin yapışkanlığı, elektriksel ve termal kontak gibi özellikleri ve hatta parlaklık gibi optik özellikleri de parça için uygun üretim yöntemini seçerek ayarlayabilir.



Şekil 8. Profil Ölçümleri

yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, temaslı ölçüm cihazı ile (Mahr Perthometer Concept) yapılabilir (Şekil 7.) ve bütün yüzey pürüzlülük parametreleri (R_a , R_q , R_y , R_z , vb.). bu cihazla belirlenebilir.

• Form Ölçümleri

Parçaların form özellikleri birbirleri ile uyumlu çalışmaları açısından çok önemlidir. Ayrıca boyutlarının belirlenmesindeki belirsizlik parçanın formuna bağlı olduğu için, parçaların form özellikleri ayrı bir önem taşır. Kısaca form hatası üretilen parçanın ideal geometrik şeklinden sapması olarak da tanımlanabilir. Geometrik formlar matematiksel yöntemlerle hesaplandıkları için birincil seviye standartları (artifakları) yoktur.

Tekrarlanabilir form hatalarına sahip bir ölçme sistemi, form parametrelerinin yüksek doğrulukta bulunabilmesi için kullanılabilir. Bu işlem hata ayırma tekniği (diğer bir deyişle reversal teknik) yardımıyla veya yerçekimi yönü (plumb line) gibi fiziksel bir referans ile veya lazer ışığının doğrusal özelliğini kullanarak yapılır.

Doğrusallık ve diklik ölçümleri reversal teknik ile CMM cihazları ile ölçülmektedir. Ölçüm verileri CMM cihazından alınıp, UME tarafından geliştirilen yazılıma aktarılmaktadır. CMM cihazından gelen hata ayrılarak sadece standardın doğrusallık ve diklik hataları (veya ikisi birden) belirlenmektedir.

Küçük çaplar için düzlemsellik ölçümleri genellikle optik camların yüzeyleri için yapılan ölçümlerdir.

Bu standartların kalibrasyonunda interferometrik yöntem kullanılmaktadır. Yüzeyden yansıyan ışınların oluşturduğu girişim çizgileri CCD kamera üzerine aktarılmakta, faz kaydırma tekniği ve görüntü işleme teknikleri ile ölçüm gerçekleştirilmektedir. Birkaç metreye kadar olan masaların düzlemsellik ölçümleri elektronik düzeç ve bu amaç için geliştirilmiş yazılım ile yapılmaktadır.

Yuvarlaklık ve silindiriklik ölçümleri Mahr MMQ40 Form (Şekil 9.) ölçüm cihazı kullanılarak yapılmaktadır. Yüksek doğrulukla ölçüm yapılabilmesi için hata ayırma tekniği üzerine çalışmalar devam etmektedir. Yuvarlaklık ölçümlerindeki belirsizlik değeri şu an için 70nm♦ dir.

- **3-Boyutlu Ölçümler (Koordinat Metrolojisi)**

Koordinat ölçme cihazları, özellikle form ve mesafe ölçümlerini (geometrik boyutlandırma ve toleranslama) aynı anda yapabilme özellikleri gibi çeşitli uygulamalarından dolayı endüstride gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Koordinat metrolojisindeki önemli bazı ölçümler: halka-tampon master kalıbtasyonu (Şekil 10),, artifaklar (silindir master, konik düz masterlar, konik vida masterlar, dişli standartlar ve özel amaçlı masterlar), imal edilen parçaların verifikasyonu ve CMM kalibrasyon prosedürlerinin geliştirilmesi olarak sıralanabilir.



Şekil 9. Form Ölçümleri



Şekil 10. CMM Ölçümleri

- **Universal Ölçümler: Çap, master bloğu, yerdeğişimi, çeşitli masterlar ve artifaklar**

Çeşitli tipteki master kalibrasyonları Şekil 11 de görülen Mahr 828 CİM uzunluk ölçme sistemi ile yapılabilir.. Farklı amaçlar için imal edilmiş olan ölçme kafalarıyla vida masterları ve çatal masterlarda ölçülebilir.



ZAMAN VE FREKANS ÖLÇÜMLERİ

Yedi temel SI biriminden olan zaman birimi saniye günümüzde 10^{-13} 10^{-14} hassasiyetle, en doğru ölçülebilen birimdir. Bu nedenle, diğer birimlerin ölçüm doğruluklarını arttırmak için zaman ve frekans ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Diğer taraftan, gelişen teknolojiyle birlikte doğru zaman bilgisine olan ihtiyacı karşılamak, havacılık, uzay ve savunma sistemlerinde özel önem taşıyan zaman koruma sistemlerini iyileştirmek için teknolojisi gelişmiş ülkeler zaman ve frekans standartları sistemlerini kurarak, geliştirilmesi için yapılan çalışmaları desteklemektedirler.

Günümüzde Koordine Evrensel Zaman (UTC) adı altında oluşturulan zaman ölçeği genel olarak Evrensel Zaman (UT1) ve Uluslararası Atomik Zaman (TAI) ölçeklerinin birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. UT1 yerkünün kendi etrafında dönüş süresine bağlıdır ve dünya rasathanelerinin katkılarıyla Uluslararası Yerküre Dönüş Servisi (IERS) tarafından oluşturulur. TAI ise atomik saatleri esas alır ve Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Bürosu (BIPM) tarafından TAI Kulübü'ne üye metroloji merkezlerinin referans saatlerinin katkılarıyla oluşturulur.

Yerküre etrafında zaman ve konum belirlemek amacıyla 6 farklı yörüngede toplam 24 adet GPS uydusu dolaşmaktadır. Bu uydularda bulunan atomik saatler ABDde bulunan özel istasyon USNO dan gönderilen zaman sinyalleri ile eşzamanlı olarak çalışarak sürekli yerküreye zaman sinyalleri göndermektedir. TAI kulübü üyeleri zaman ve frekans laboratuvarı ise uydu alıcısıyla elde ettikleri bu zaman sinyallerini kullanarak uydulardaki saatlerle referans saatler arasındaki zaman farkını sürekli ölçmektedir. Sonuçlar internet aracılığı ile her hafta BIPM gönderilerek TAI kulübü üyelerinin referans saatleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda, saatlerin doğruluk ve kararlılıklarına göre hangi ağırlıklı ortalamaıyla TAI nin oluşmasına katkıda bulunduğu belirtilir, ayrıca her saatin oluşan UTC zamanından olan farkı hesaplanır. Hesaplanan bu değerler Circular T XXX şeklinde BIPM tarafından aylık olarak yayınlanır. Böylece TAI kulübü üyelerinin referans saatlerinin izlenebilirliği elde edilmiş olur.

OPTİK STANDARTLARI ÖLÇÜMLERİ

RADYOMETRİ BÖLÜMÜ

Radyometrik ölçümler, elektromanyetik ışınım tayfının röntgen ışınımaları ile radyo dalgaları arasında yer almakta ve 10^6 - 1 nm dalgaboyu aralığındaki ölçümleri kapsamaktadır (Tablo 1).

Bölge	Dalgaboyu λ , nm	Frekans ν , Hz	Dalga sayısı k , cm^{-1}	Foton enerjisi $h\nu$, eV
Kızılötesi	780- 10^6	3.85×10^{14} - 3.00×10^{11}	$10 - 1.28 \times 10^4$	1.59- 2.24×10^{-3}
Görünür	380 - 780	7.89×10^{14} - 3.85×10^{14}	2.63×10^4 - 1.28×10^4	3.27 - 1.59
Morötesi	1 - 380	3.00×10^{17} - 7.89×10^{14}	1.00×10^7 - 2.63×10^4	3.27 - 12.42×10^2

Tablo 1. Optik ışınım aralığı

Kızılötesi, görünür ve morötesi olarak da bilinen optik ışınım aralığında ölçüm ve optik cihazlara yönelik aktiviteler ele alınmaktadır. Laboratuvarın birincil seviye temel standardı, elektriksel yerine-koyma yöntemine göre çalışan helyum soğutmalı düşük sıcaklık radyometre (Krayojenik, Radiox) sistemidir. Bu ölçüm sistemi ile lazer kaynaklarının optik gücü 1mW seviyesine kadar mutlak olarak ölçülebilmektedir. Krayojenik Radyometre ile elde edilen mutlak güç ölçüm değerlerini çalışma standartlarına aktarmak için silikon fotodiyotlardan yapılmış yansıma tipi tuzak dedektörler ve düzgün duyarlılığa sahip elektrik kalibreli pyroelektrik radyometre (ECPR) sistemi transfer standartları olarak kullanılmaktadır.

350 nm-850 nm dalgaboyu aralığında yüksek iç kuantum verimine sahip olan yansıma tipi tuzak dedektörler ile tayfsal duyarlılık ölçeği (A/W), ışınım kaynaklarının önemli özelliklerinden biri olan tayfsal ışınım düzeyi ölçeği

(W/m²) tuzak dedektör temelli ve sıcaklık kontrollü filtre radyometreleri yardımıyla 10⁻⁴ mertebesinde bir belirsizlikle gerçekleştirilebilmektedir.

ECPR sistemi ile lazer ve ışık kaynaklarının optik güç ölçümleri 100mW'a kadar, tayfsal ışınım düzeyi 200 W/m² 'a kadar ölçülebilmekte ve tayfsal duyarlılık ölçeği ise 250-2500 nm dalga boylarına kadar genişletilebilmektedir.

Bu bölümde ayrıca, elektromanyetik ışınım tayfının 250 - 16000 nm dalgaboyu aralığında, ışığın katı, sıvı ya da gaz gibi her türlü ortamdaki düzenli ve dağınık geçirgenlik, yansıtma, kırılma, soğurma ve saçılma gibi özellikleri çift-kasa Bentham monokromator tabanlı ölçüm sistemi kullanılarak incelenmektedir.

Sonuç olarak, oluşturulan birincil seviye ölçüm sistemlerinde lazer ve her türlü ışınım kaynaklarının dalgaboyuna karşılık optik gücü (W) ve ışınım düzeyi (W/m²), dedektörlerin tayfsal duyarlılık değeri (A/W) gibi fiziksel özellikleri ve numunelerin optik karakterizasyonları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, araştırma çalışmalarında kullanılan optik dedektörlerin, ışınım düzeyi, güç ve güneş ışınım ölçerlerin ve monokromatör veya spektrofotometrelerin kalibrasyonları da yapılabilmektedir.



Düşük Sıcaklık Radyometresi



Yansıtma Tipi Tuzak Dedektörler



Sıcaklık Kontrollü Filtre Radyometresi

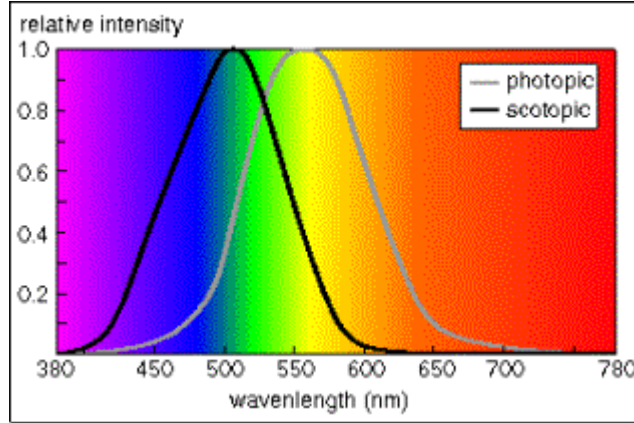


Tayfsal Işınım Düzeyi Kaynakları

2. FOTOMETRİ BÖLÜMÜ

Fotometri bölümü, beyaz ışık şiddetinin ve aydınlatma enerjisinin ölçülmesine yönelik ölçümleri kapsamaktadır. Bu bölümde yapılan tüm ölçümler insan gözü tarafından

algılanabilen elektromanyetik ışınım tayfında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle fotometrik ölçümler 380 - 780 nm dalgaboyu aralığında sınırlıdır. Uluslararası Fotometrik ölçümlerindeki uyumun sağlanabilmesi için ortalama insan gözü duyarlılığı uluslararası aydınlatma komitesi (CIE, Commission Internationale de L'eclairage) tarafından 1924 yılında tanımlanmıştır ve "fotopik göz duyarlılığı" olarak adlandırılmıştır. Aydınlatma seviyesine göre gözün renklere duyarlılığı değişebildiği için (özellikle karanlık ortamda) CIE, bu durum için "skotopik göz duyarlılığı" fonksiyonunu da standartlaştırmıştır.



Fotopik ve Skotopik fonksiyonlar

Bu nedenle, fotometrik ölçümlerde kullanılan her optik cihaz içerisinde gözün görme fonksiyonuna eşlenik filtreler ($V(\lambda)$ -fotopik) kullanılmaktadır.

Laboratuvardaki Fotometri bölümünde, özellikle ışık kaynaklarının (akkor, halojen, IYD, flüoresan vb) aydınlatma özelliklerinin belirlenmesine yönelik ölçümler yapılmaktadır. SI temel ölçüm birimlerinden ışık şiddeti birimi kandela, 1979 yılındaki son tanımına uygun olarak dedektör tabanlı (filtre-radyometresi) ölçüm yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Işık şiddeti gerçekleştirildiği için fotometrinin diğer büyüklükleri olan aydınlık düzeyi (lüks) ve parıltı (cd/m^2), çalışma standardı fotometre başlıkları ve parıltı kaynakları kullanılarak ölçülebilmektedir. Işık kaynakları için önemli diğer fotometrik büyüklük olan ışık akısı (lümen) ise 2 m çaplı toplama küresi kullanılarak ölçülebilmektedir.

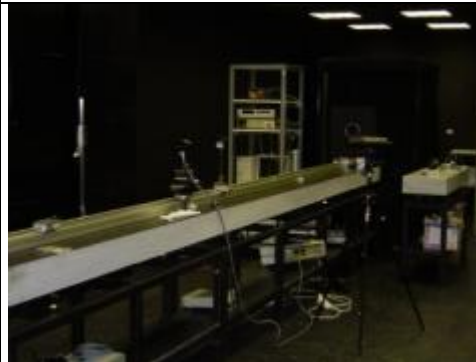
Aydınlatma tekniğinde kullanılan aydınlatıcıların açısız ışık dağılımı, armatürlerin verimliliği, evlerden futbol sahalarına kadar mekan ve otoyol aydınlatmaları bu çalışma konusuna dahildir. Bu bölümde ayrıca, otomotiv, boya ve tekstil sektörlerine hizmet verebilmek için otomobil farlarının ve geri-yansıtıcıların açısız fotometrik karakteristikleri çıkarılabilmekte ve standart aydınlatma seviyelerinde numunelerin renksel (CIE-xyY, CIE-XYZ, CIELab ve CIE-Luv) ve açısız parıltı (20° , 60° , 85°) özellikleri uluslararası normlara göre ölçülebilmektedir.



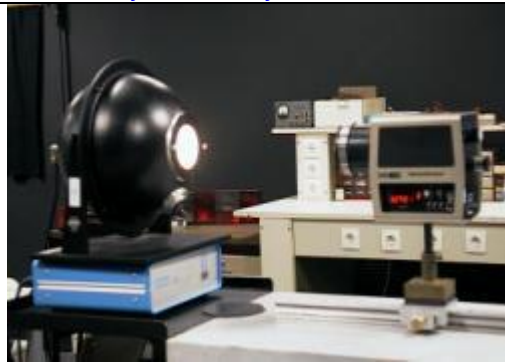
Işık Şiddeti Ölçüm Sistemi



Işık Akısı Ölçüm Sistemi



Aydınlık Düzeyi Ölçüm Sistemi



Parıltı Ölçüm Sistemi

3. FİBER OPTİK ÖLÇÜMLERİ

Bakır ve diğer kablolama teknolojisine göre fiber kabloların kullanılmasına günümüzde daha fazla ilgi duyulmaktadır. Özellikle telekomünikasyon, güvenlik, haberleşme, yayın teknolojilerinde sayısal bilgilerin en hızlı (Gb/s) ve güvenilir bir şekilde gönderilmesi fiber kabloların yaygın kullanılmasına yol açmıştır. Günümüzde fiber kablolar, kullanımına göre tek, çok ve plastik modlu olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Fiber kablolar temel olarak silikadan (SiO_2) yapılmış olup en büyük avantajlarından biri diğer kablolama sistemlerine göre daha uzak mesafelere daha fazla veri (seri dijital data transmisyonu) sağlayabilmesidir.

Fiber optik konusu laboratuvarın yeni araştırma çalışması olduğu için şimdilik sadece tek modlu fiberler ve kullanılan cihazlar üzerine araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Laboratuvar tarafından karakterize edilen ve oluşturulan iki adet ulusal fiber standart (NFS-01(1285 - 1395 nm) ve NFS-02(1530 - 1570 nm)) ve çalışma standardı InGaAs dedektörler kullanılarak fiber optik güç ölçerlerin, zayıflatıcıların ve OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) cihazlarının ölçüm (kalibrasyon) performans analizleri yapılmakta ve bu konuda çözümler üretilmektedir.

ELEKTRİK ÖLÇÜMLERİ

ELEKTRİK GÜÇ ÖLÇÜMLERİ

İndüksiyon Bobinli Elektrik Sayacı (Mekanik Elektrik Sayacı)

Bu sayaç, tek fazlı ve çok fazlı AC devrelerdeki aktif veya reaktif tüketimi ölçmek için kullanılmaktadır. Kullanılan modern malzemeler ile tasarımındaki mükemmellik sayesinde, mekanik elektrik sayacı hassasiyeti yüksek bir cihazdır ve belirli Şartlar altında yirmi yıldan daha uzun bir süre problemsiz ve tamir gerektirmeden çalışabilmektedir. Şekil 1’de çok fazlı bir mekanik elektrik sayacı görülmektedir.

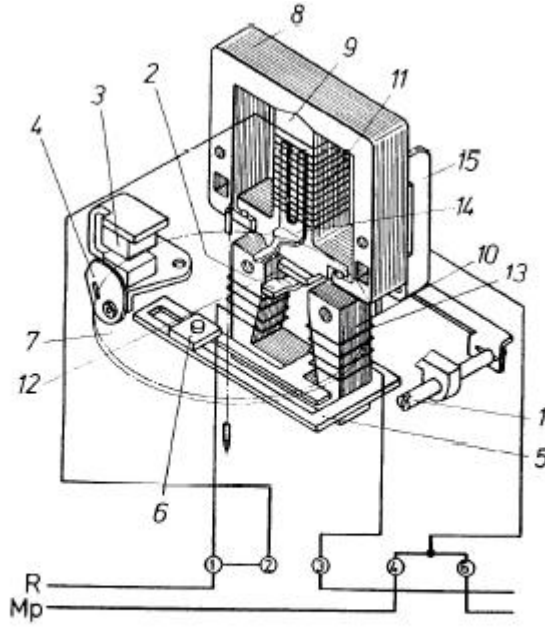
1. Çalışma ve teknik karakteristikleri

Ölçüm mekanizmaları temelde, şebeke gerilimi ve yük akımı ile enerjilenen bir elektromıknatıs ve bir sayaç tarafından dönüş sayısı kaydedilen bir alüminyum rotordan oluşmaktadır (Şekil 2). Mekanizma şu şekilde çalışmaktadır: Gerilim sargısı ve akım sargısı tarafından üretilen iki akının elektromanyetik olarak oluşturduğu iki torkun etkileşimi diskin dönüşüne neden olmaktadır. İki akının iç faz ayarına ve şebeke durumuna bağlı olarak, tork aktif veya reaktif güce orantılı olacaktır. Böylece, bir sayaç tarafından kaydedilen dönüş sayısı, elektrik enerjisiyle orantılı ve tüketimin bir ölçüsü olacaktır.

2



Şekil 1. Çok fazlı mekanik elektrik sayacı



Şekil 2. Tek fazlı mekanik elektrik sayacının yapısı.

Güç sistemlerinde güç ve harmonik ölçümlerini çeşitli ölçüm cihazları ile yapmak mümkündür. Enerji Analizörü (Elcontrol VIP System 3), bazı Güç Metreler ve Harmonik Analizörleri (Fluke 39, Fluke 41B, Fluke 43) ölçüm cihazlarına örnek olarak gösterilebilir.

Ölçümlerde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uygun ölçüm cihazını seçmek;
Ölçüm için seçilen cihazın gerilim ve akım sınırlarını aşmamak,
Uygun prob kullanmak.

- Ölçüm noktasını seçmek;

Sağlıklı bir şekilde problemlerin ölçüm noktasına bağlanmasını sağlamak

- Bağlantı sonrası cihazı kontrol etmek;

Gerekirse cihazın beslemesini topraklı prizden sağlamak,

Priz topraklı değilse topraklama için toprak barası ile bağlantı kurmak,

3 fazlı ölçüm alınıyorsa faz dönüş yönünü kontrol etmek,

Cihazın belleğinde gerilim ve akım mertebelerinin kontrolünü yapmak,

Gerekirse tarih ve saat ayarlarını yapmak.

- Cihazın kalibrasyonunun kontrolü;

Ölçüm hatalarını minimuma indirmek için belirli periyotlarda yetkili kuruluşlar tarafından kalibrasyonunu sağlamak.

- Can güvenliğini dikkate almak;

Mümkün ise yalnız ölçüme gitmemektir.

Çimento fabrikalarında yapılan güç ve harmonik ölçümleri Elcontrol VIP System 3 enerji analizörü ve Fluke 39 güç metresi ile yapılmaktadır. Cihazlar ile 3 fazlı ve tek fazlı ölçümler alınmaktadır. Bu bölümde cihazların özellikleri ve bağlantı şekilleri gösterilmiştir.

- **Fluke 39:**

Cihazın özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 500 Amper'e kadar olan akım değerleri ölçülebilmektedir,
- 600 Volt'a kadar olan gerilim değerleri ölçülebilmektedir.
- Akım ve gerilimlerin;

Efektif değerleri (RMS),

Tepe değerleri (Peak),

Tepe değer faktörü (Crest Factor),

Harmonik bileşenleri okuyabilme,

Dalga şeklini ve harmonik spektrumunu göstermekte,

Dalga şekli üzerindeki herhangi bir değer okunabilmektedir.

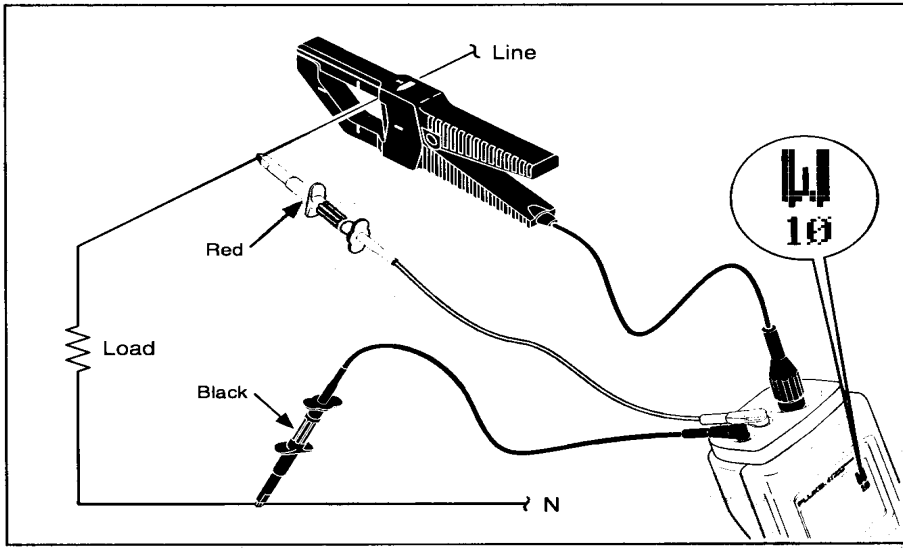


Şekil 4.20 Fluke 39 güç ve harmonik ölçüm cihazı.

- Aktif, Reaktif ve Görünür gücün efektif (RMS) değerlerini okumak mümkündür.

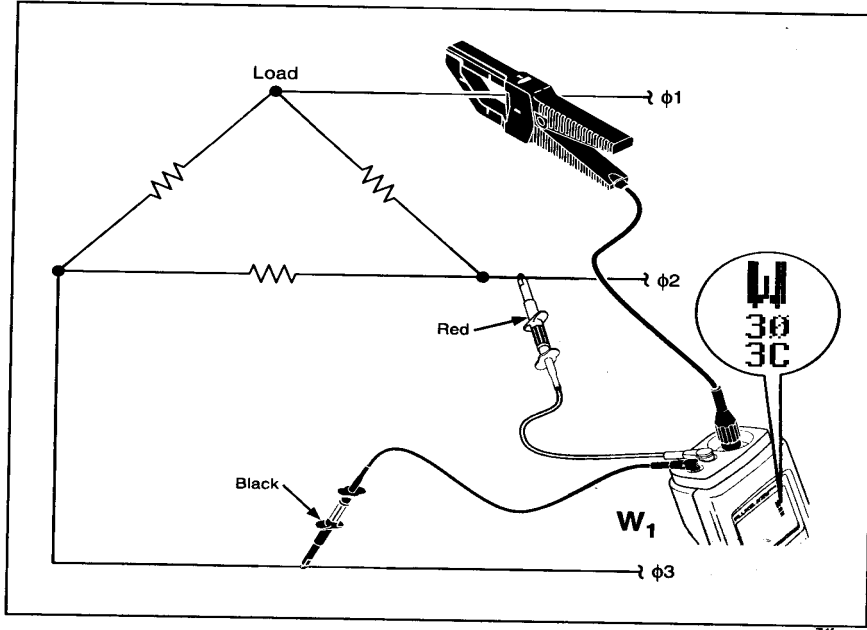
- Her frekanstaki akım ve gerilim arasındaki açı ($\cos\phi$) ayrı ayrı, harmonik bileşenlerin bulunduğu bir devrede güç faktörü okunabilmektedir.
- Frekans ölçülebilmektedir.
- 31. Harmoniğe kadar değer alabilmektedir.
- THD değerini akım ve gerilim bazında ayrı ayrı göstermektedir.
- Tek ve 3 fazlı olarak ölçüm alınabilmektedir.
- Cihaz pil ile çalıştığından kullanımı oldukça pratiktir.

Şekil 4.21' de Fluke 39 cihazının tek fazlı ölçüm için bağlantı şeması verilmiştir.



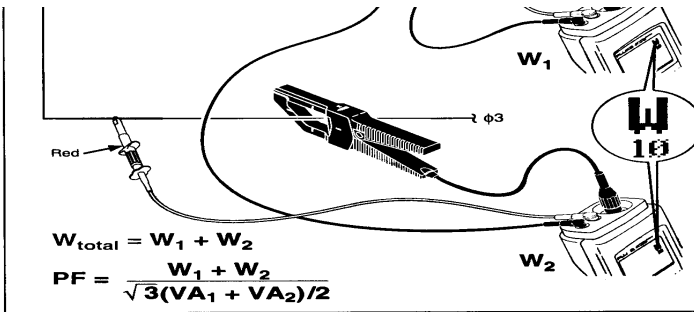
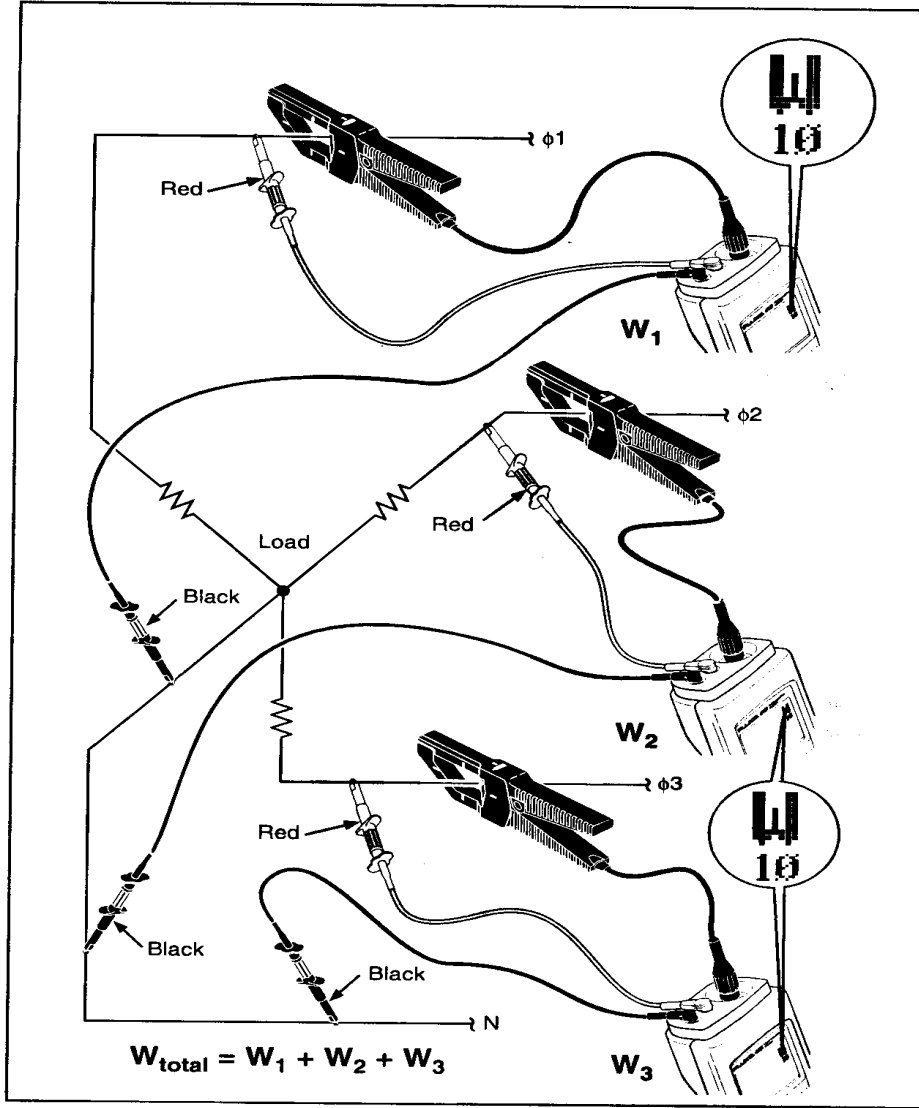
Şekil 4.21. Fluke 39 cihazının tek fazlı ölçüm için bağlantı şeması.

Şekil 4.22' te Fluke 39 cihazının 3 fazlı, üçgen bağlı bir sistemde ölçüm alınması durumunda için bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 4.22. Fluke 39 cihazının 3 fazlı, üçgen bağlı bir sistemde ölçüm alınması için bağlantı şeması.

Şekil 4.23. Fluke 39 cihazının üçgen bağlı dengesiz yüklü bir sistemde ölçüm alınması durumunda bağlantı şeması.



Şekil 4.24. Fluke 39 cihazının üçgen bağlı dengesiz yüklü bir sistemde ölçüm alınması durumunda bağlantı şeması.

- **Elcontrol VIP System 3:**

Elcontrol VIP System 3 cihazı, hem enerji hemde harmonik analizörü olarak çalışabilir. Üzerine takılan bir kartuş ile enerji analizöründen harmonik analizörüne dönüşür. Üç fazlı ölçümlerde her faza ilişkin tüm elektriksel parametreleri ayrı ayrı tek bir bağlantı ile görmek mümkündür. Ayrıca cihazın sayaç sayfası ile aktif güç saat, reaktif güç saat değerlerini takip etmek mümkündür. Cihaz 220V (AC) veya 110V (AC) gerilimlerinde; 50 Hz veya 60 Hz frekanslarında ayrıca pil ile çalışabilmektedir. Kayıt alma imkanı mevcut olan bu cihazda, istenilen 4 parametrenin zamana karşı değişimlerini izlemek mümkündür. Ayarlanan zaman aralıklarında parametrelerin ortalama değerlerini almak mümkündür.

Cihazın özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 3000 Amper' kadar akım,
- 600 Volt' a kadar gerilim ölçülebilmektedir.
- Akım ve gerilimin efektif değerleri ölçülebilmektedir.
- Aktif, Reaktif, Görünür gücün efektif değerleri okunabilmektedir.
- Her frekanstaki akım ve gerilim arasındaki açıyı ($\cos\phi$) ayrı ayrı harmonikli bir devrede güç faktörü okunabilmektedir.
- Frekans,
- THD değerini akım ve gerilim bazında ayrı ayrı okunabilmektedir.
- Tek ve 3 fazlı olarak ölçüm yapılabilmektedir.
- 25. Harmoniğe kadar olan harmonik bileşenleri okunabilmektedir.
- 1.25 kHz üzerinden efektif (RMS) değerlerde ölçüm alabilme
- Bilgisayar ile bağlanabilme
- Dalga şeklini izleyebilme
- Cihazın sisteme bağlantısında faz dönüş yönünü kontrol edebilme,
- Tek fazlı ve 3 fazlı bağlantı ile ölçüm alabilme,
- Ani, ortalama, maksimum değerlerde ölçüm alabilme özellikleri vardır.

Şekil 4.25’de Elcontrol VIP System 3 Enerji analizörünün resmi verilmiştir. Yüksek akım değerlerinde (3000 A) ölçüm alabilen bu cihaz transformatör ölçümlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.Şekil 4.26' da cihazın 3 fazlı bağlantı şeması verilmiştir.

EMPEDANS ÖLÇÜM VE KALİBRASYON SİSTEMLERİ

Empedans elektriğin temel ölçümleri arasında yer almaktadır. Hassas kalibrasyonlarda kapasitans ölçümleri için 1 kHz de Andeen Hagerling 2500A Hassas Kapasitans köprüsü diğer frekanslarda ise GenRad 1621A Kapasitans Karşılaştırma köprüsü kullanılabilir. Bu yöntemle 0.1 pF ve 11 mF aralığındaki kapasitans standartları en iyi 5×10^{-6} belirsizlikle ölçülebilir. Birincil seviye ölçümler için olan bu tür araçları günlük ölçümlerde kullanmayız.

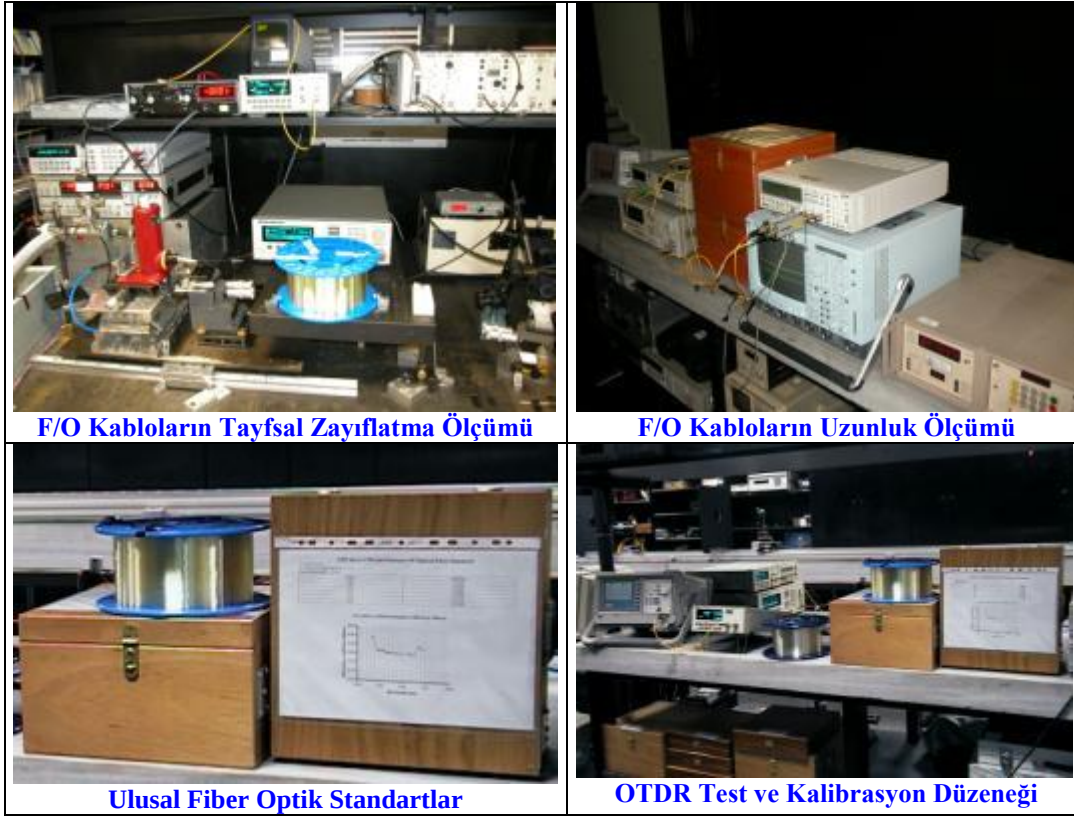


Birincil seviye indüktans izlenebilirliği 1 kHz de 10 mH için Maxwell-Wien köprüsü kullanılarak elde edilebilir. 1:10 indüktans karşılaştırma köprüsü kullanılarak bu değer diğer indüktanslara aktarılır.

AH 2500A Kapasitans Köprüsü

100 mΩ ve 10 kΩ aralığındaki standart dirençler Measurement International (MI) 6010B otomatik direnç köprüsü ile ölçülebilir. 100 kΩ - 1 PΩ aralığındaki yüksek değerli dirençler ise MI 6000A yüksek direnç köprüsü ve Wheatstone köprüsü ile ölçülebilir.





10 V Josephson Dizisi Gerilim Standardı (JDGS)

JDGS₁ ile birincil seviyede, DC gerilim standardı kalibrasyonları ve 8 ½ dijital çözünürlükteki voltmetre veya multimetrelerin -10V ile +10V aralığında DC gerilim kalibrasyonları gerçekleştirilebilir.



10V Josephson Dizisi Gerilim Standardı Sistemi

Ölçüm Büyüklü	Kalibre Edilen Cihaz	Min. Değer	Max. Değer	Geniştirilmiş Belirsizlik Değeri	Güvenilirlik Seviyesi
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	DC gerilim standardı	1V	1V	50 nV	95%
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	Standart Pil; DC gerilim	1.018V	1.018V	50 nV	95%

	standartı				
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	DC gerilim standardı	10V	10V	500 nV	95%
DC gerilim ölçer	Multimetre; Voltmetre	2.E-04V	10V	0.5 μ V/V	95%

10V JDGS ile gerçekleştirilen kalibrasyonlar için en iyi belirsizlik değerleri

DC Gerilim Standardı Otomatik Kalibrasyon Sistemleri

DC gerilim standartları UME’de bu sistem kullanılarak kalibre edilir



DC Gerilim Standardı Otomatik Kalibrasyon Sistemi

Ölçüm Büyüklüğü	Kalibre Edilen Cihaz	Min. Değer	Max. Değer	Geniştirilmiş Belirsizlik Değeri	Güvenilirlik Seviyesi
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	DC gerilim standardı	1V	1V	0.4 μ V/V	95%
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	Standart Pil; DC gerilim standardı	1.018V	1.018V	0.4 μ V/V	95%
DC Gerilim Kaynağı: Tek değer	DC gerilim standardı	10V	10V	0.4 μ V/V	95%

DC Gerilim Standardı Otomatik Kalibrasyon Sistemi ile gerçekleştirilen kalibrasyonlar için en iyi belirsizlik değerleri

Çok Eklemlı Isıl Gerilim Çevirici Standardı Sistemi

Çok Eklemlı Isıl Gerilim Çevirici Standardı Sistemi ile birincil seviyede AC/DC transfer standardı, AC/DC akım şöntü, AC kalibratör, AC voltmetre ve AC ampermetre kalibrasyonları gerçekleştirilebilir.



Çok Eklemlı Isıl Gerilim Çevirici Standardı Sistemi