

**OTOMOTİV YAN SANAYİDE KULLANILAN FARKLI
ÖLÇÜM TEKNİKLERİNİN KALİBRASYON
METODLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Elif SABURLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV YAN SANAYİDE KULLANILAN FARKLI ÖLÇÜM
TEKNİKLERİNİN KALİBRASYON METODLARI AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Elif SABURLU

Orcid no: 0000-0003-2870-8791

Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ

Orcid no: 0000-0001-9369-3552

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Elif SABURLU tarafından hazırlanan “OTOMOTİV YAN SANAYİDE KULLANILAN FARKLI ÖLÇÜM TEKNİKLERİNİN KALİBRASYON METODLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ
Orcid no: 0000-0001-9369-3552

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ
Orcid no: 0000-0001-9369-3552
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL
Orcid no: 0000-0001-5965-0313
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
Orcid no: 0000-0003-1387-907X
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

30/01/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

05/09/2019

Elif SABURLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV YAN SANAYİDE KULLANILAN FARKLI ÖLÇÜM TEKNİKLERİNİN KALİBRASYON METODLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Elif SABURLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erol SOMAZ

Günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanılan ölçüm cihazlarında güvenilir, hassas ve doğrulanabilir ölçüm işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ölçümlerdeki güvenilirlik, ölçüm cihazlarının doğru bir şekilde kalibrasyon işleminin yapılması ile mümkün olmaktadır. Kalibrasyonu yapılan cihazların izlenebilirliğinin sağlanması şarttır. İzlenebilirlik, kalibrasyon işleminde kullanılan kontrol aletlerinin ölçüm sonuçlarının ulusal standart ile karşılaştırılması işlemidir. Kalibrasyon işlemi, belirli koşullar altında ölçümü yapılan kontrol aletinin ölçüm sonuçları ile değeri bilinen referans ölçüm cihazından elde edilen sonuçların birbirleriyle kıyaslanmasıdır. Ölçüm belirsizliği ise, ölçüm sonuçlarının belirlenen ölçüm aralıklarına göre olasılık hesapları ile değerlendirilmesidir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak ölçüm bilimi olarak adlandırılan metrolojinin tarihçesinden bahsedilmiştir. Daha sonra kalibrasyon işlemi ve kalibrasyon laboratuvarlarında geçmişten günümüze kadar olan zaman diliminde kalite, standardizasyon ve yapısı, kullanılan terimler ve açıklamaları üzerinde durulmuştur. Otomotiv yan sanayide kullanılan farklı ölçüm tekniklerinin kalibrasyon metotları incelenmiştir. Genel olarak, sanayide kullanılan ölçüm cihazlarının basınç, sıcaklık ve elektriksel kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ölçüm cihazlarının kalibrasyon işlemi ile birlikte ölçüm belirsizlik hesapları yapılmıştır. Referans olarak kullanılan cihazların ölçüm sonuçları ile kalibrasyonu yapılan cihazların ölçüm sonuçları, belirlenmiş bir tolerans aralığında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, kalibrasyon ölçüm sonucunun uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalibrasyon, belirsizlik, izlenebilirlik, ölçüm, basınç, sıcaklık, elektriksel, metroloji

2019, x + 98 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

AN INVESTIGATION OF DIFFERENT MEASUREMENT TECHNIQUES USED IN
AUTOMOTIVE SUPPLY INDUSTRY IN TERMS OF CALIBRATION METHODS

Elif SABURLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Erol SOMAZ

Nowadays, reliable, sensitive and verifying measurement processes are needed for measuring devices used in the automotive industry. The reliability of these measurements is performed possible by the correct calibration of the measuring devices. The traceability of the calibrated devices must be provided. Traceability is the process of the comparing measurement results of the control instruments used in the calibration process with the national standard. The calibration process is the comparison of the measurement results of the control instrument measured under certain conditions with the results obtained from the reference measuring device of known value. The measurement uncertainty is the evaluation of the measurement results with the probability calculations according to the specified measurement ranges.

In this thesis study, firstly, the history of metrology which is called as measurement science was mentioned. Then, the calibration process and the quality, standardization and its structure, the terms used from the past to the present time and their explanations were discussed. Calibration methods of different measurement techniques used in automotive sub-industry were examined. In general, pressure, temperature and electrical calibration process of the measuring devices used in the industry have been performed. Also, the calibration process of the measurement devices with the measurement uncertainty calculations have been performed. The measurement results of the instruments used as reference were compared with the measurement results of the calibrated instruments at a specified tolerance range. As a result of this comparison, it was determined whether the calibration measurement result was appropriate or not.

Keywords: Calibration, uncertainty, traceability, measurement, pressure, temperature, electrical, metrology.

2019, x + 98 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında yardım ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalıőmam boyunca yardımlarını ve önerilerini esirgemeyen Arő. Gör. Ufuk GÜL'e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif SABURLU

05/09/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Metrolojiye Giriş	4
2.2. Metrolojinin Tarihçesi	5
2.3. Kalibrasyon	7
2.4. İzlenebilirlik ve Belirsizlik	7
2.5. Ölçüm Belirsizliği	8
2.6 GUM Yaklaşımı	9
2.7. Genel Tanımlar ve Kavramlar	9
2.7.1. Ölçme işlemi	9
2.7.2. Ölçüm sonucu	9
2.7.3. Düzeltme	10
2.7.4. Düzeltme faktörü	10
2.7.5. Ölçüm hatası	11
2.7.6. Hata ve belirsizlik ifadesi	11
2.7.7. Ölçüm doğruluğu	11
2.7.8. Ölçüm kesinliği	12
2.7.9. Doğruluk ve kesinlik kavramları	12
2.7.10. Deneysel standart sapma	12
2.7.11. Ölçüm sonuçlarının tekraralanabilirliği	13
2.7.12. Ölçüm sonuçlarının tekrar gerçekleştirilebilirliği	13
2.7.13. Korelasyon	13
2.7.14. Güvenilirlik düzeyi	13
2.8. Ölçüm Belirsizliği Bileşenlerinin Hesaplanması	14
2.9. Belirsizlik Faktörlerinin Sınıflandırılması	14
2.9.1. A tipi standart belirsizlik değerlendirilmesi	15
2.9.2. B tipi standart belirsizlik değerlendirilmesi	15
2.9.3. Standart belirsizlik	15
2.9.4. Birleştirilmiş standart belirsizlik	16
2.9.5. Genişletilmiş belirsizliğin hesaplanması	16
2.10. Belirsizliğin Olası Nedenleri	16
2.11. Belirsizlik Hesabında Kullanılan İstatiksel Dağılımlar	17
2.12. Belirsizlik Hesaplama Yöntemleri	19
2.12.1. A-Tipi belirsizlik hesaplama yöntemi	19
2.12.2. B-Tipi belirsizlik hesaplama yöntemi	19
2.13. Belirsizliğe Etki Eden Başlıca Faktörler	20
2.14. Ölçüm Belirsizliğinin Raporlanması	20
2.15. Kaynak Araştırması	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Sıcaklık Kalibrasyonu	26

3.1.1. Platin direnç termometreleri	27
3.1.2. Isıl çift	28
3.1.3. Blok kalibratör	30
3.1.4. Kızılötesi termometresi	30
3.1.5. Şartlandırıcı fırın	31
3.2. Basınç Kalibrasyonu	32
3.2.1. Basınç terminolojisi	32
3.2.2. Basınç standartları	34
3.3. Elektriksel Kalibrasyon	36
3.3.1. Genel kavramlar	36
3.3.2. Dijital multimetre ve çalışma prensibi	37
3.3.3. Osiloskop ve çalışma prensibi	43
3.3.4. Ampermetre ve çalışma prensibi	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1. Sıcaklık Kalibrasyon Sonuçları	50
4.1.1. Kuru blok kaynağı kullanılarak direnç termometre kalibrasyonu	50
4.1.2. Sıvı blok kaynağı kullanılarak direnç termometre kalibrasyonu	57
4.1.3. Kızılötesi termometresi kalibrasyonu	58
4.2. Basınç Kalibrasyon Sonuçları	59
4.2.1. Karşılaştırma metodu kullanarak ölü ağırlık ile makine basınç kalibrasyonu	59
4.2.2. Karşılaştırma metodu kullanarak manometre kalibrasyonu	62
4.3. Elektriksel Kalibrasyon	68
4.3.1. Fluke 5500A cihaz kullanımı	68
4.3.2. Multimetrenin kalibrasyonu	71
4.3.3. Osiloskop kalibrasyonu	84
4.3.4. Pens ampermetre kalibrasyonu	88
5. SONUÇ	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	Sınır Değeri
C	Toplam Yük
F	Kuvvet
I	Akım
k	Kapsam Faktörü
L	Endüktans
μ	Ölçülen Büyüklüğün Gerçek Değeri
n	Ölçüm Adeti
$p(x)$	Olma İhtimali
P	Basınç
P_{atm}	Atmosfer Basıncı
$P_{gösterge}$	Gösterge Basıncı
P_{mutlak}	Mutlak Basıncı
Q	Elektriksel Gerilme
R	Direnç
s	Deneysel Standart Sapma
S	Alan
σ	Standart Sapma
T	Celcius Sıcaklığı Sembolü
$u_c(y)$	Birleştirilmiş Belirsizlik
u_i	Standart Belirsizlik
$u_{\text{çözünürlük}}$	Çözünürlükten Kaynaklanan Belirsizlik
u_{cihaz}	Cihazdan Kaynaklanan Belirsizlik
$u_{\text{tekrarlı}}$	Tekrarlı Ölçümden Kaynaklanan Belirsizlik
$U(y)$	Genişletilmiş Belirsizlik
x	Ölçüm Sonucu
x_i	i. Ölçüm Sonucu
\bar{x}	n Adet Ölçüm Değerinin Aritmetik Ortalaması

Kısaltmalar	Açıklama
AC A	Alternatif Akım
AÖN	Alt Ölçüm Noktası
AC V	Alternatif Gerilim
Atm	Atmosfer
BIPM	Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (Bureau International des Poids et Measures)
CGPM	Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı
CIPM	Comite International des Poids et Mesures
DC A	Doğru Akım
DC V	Doğru Gerilim
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü

GUM	Ölçümde Belirsizliği İfade Etme ISO Kılavuzu
IR	Kızılötesi Radyasyon
ITS-90	Uluslararası Sıcaklık Ölçeği
LDR	Işığa Bağlı Direnç
LIG	Sıvılı Cam Termometre
PRT	Platin Direnç Termometreleri
RÖS	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu
RTD	Direnç Sıcaklık Detektörü
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
SPRT	Standard Platin Direnç Termometreleri
T90- t90	Uluslararası Santigrat Sıcaklığı
ÜÖN	Üst Ölçüm Noktası

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Metrolojinin dalları	5
Şekil 2.2. Kübit örneği	6
Şekil 2.3. Metre örneği	6
Şekil 2.4. Doğruluk ve kesinlik kavramları için hedef tahtası örneği	12
Şekil 2.5. Dikdörtgen dağılım	18
Şekil 2.6. Üçgen dağılım	19
Şekil 3.1. PT100 Sıcaklık-Direnç grafiği	28
Şekil 3.2. İki farklı iletkenin uç noktalarından kaynaklanması	29
Şekil 3.3. Termokupl yapısı	29
Şekil 3.4. Kuru ve sıvı blok banyoları	30
Şekil 3.5. Şartlandırıcı fırın	31
Şekil 3.6. Basınç terminolojisi	33
Şekil 3.7. Pistonlu basınç ölçer	35
Şekil 3.8. Dijital multimetre örneği	39
Şekil 3.9. Gerilim ölçümü	40
Şekil 3.10. Gerilim ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı	40
Şekil 3.11. Multimetre ile direnç ölçümü	41
Şekil 3.12. Direnç ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı	42
Şekil 3.13. Multimetre ile akım ölçümü	42
Şekil 3.14. Akım ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı	43
Şekil 3.15. Basit osiloskop ekranı	44
Şekil 3.16. Örnek bir osiloskop	44
Şekil 3.17. Pens ampermetre ile akım ölçümü	49
Şekil 4.1. Kuru blok kaynağı	50
Şekil 4.2. Kuru blok kaynak ekranı	50
Şekil 4.3. Sıvı blok kaynağı	57
Şekil 4.4. Infrared termometre kalibrasyonu	58
Şekil 4.5. Ölü ağırlık test cihazı	60
Şekil 4.6. Ölü ağırlık test cihaz örneğinin şeması	60
Şekil 4.7. Platforma yerleştirilen ağırlık örneği	61
Şekil 4.8. CPC8000 cihaz ekranı ölçüm aralığı seçimi	63
Şekil 4.9. CPC8000 cihaz ekranı ölçüm nokta girişi	63
Şekil 4.10. Manometre-Referans cihaz bağlantısı	64
Şekil 4.11. Fluke 5500A Ekran ve tuş takımı	69
Şekil 4.12. Fluke 289 multimetre cihazı	71
Şekil 4.13. Multimetre AC voltaj kalibrasyonu	74
Şekil 4.14. Multimetre DC voltaj kalibrasyonu	74
Şekil 4.15. Multimetre direnç kalibrasyonu	75
Şekil 4.16. Multimetre kapasite kalibrasyonu	75
Şekil 4.17. Multimetre frekans kalibrasyonu	76
Şekil 4.18. Multimetre sıcaklık kalibrasyon	76
Şekil 4.19. Multimetre akım kalibrasyonu	77
Şekil 4.20. Osiloskop bağlantı şekli	84
Şekil 4.21. Osiloskop volt ölçüm ekranı	84
Şekil 4.22. Osiloskop voltaj kare dalga sinyali	85
Şekil 4.23. Osiloskop zaman sinyali	87

Şekil 4.24. Fluke 376 pens ampermetre ve Fluke5500A Coil	88
Şekil 4.25. Pens ampermetre AC voltaj kalibrasyonu.....	89
Şekil 4.26. Pens ampermetre DC voltaj kalibrasyonu.....	90
Şekil 4.27. Pens ampermetre direnç ve kapasite kalibrasyonu.....	90
Şekil 4.28. Pens ampermetre DC akım kalibrasyonu.....	91
Şekil 4.29. Pens ampermetre AC akım kalibrasyonu.....	91
Şekil 5.1. Ölçüm sonucu değerlendirme aralığı	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Basınç dönüşüm tablosu.....	32
Çizelge 4.1. PT100 sınıf ve tolerans bilgisi	51
Çizelge 4.2. PT100 sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları	51
Çizelge 4.3. PT100 sıcaklık tekrarlı ölçüm sonuçları	53
Çizelge 4.4. PT100 belirsizlik hesap tablosu	55
Çizelge 4.5. PT100 sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları	57
Çizelge 4.6. Infrared sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları	59
Çizelge 4.7. Makine basınç kalibrasyon sonuçları	62
Çizelge 4.8. Manometre kalibrasyon sonuçları	64
Çizelge 4.9. Manometre basını için tekrarlı ölçüm sonuçları	66
Çizelge 4.10. Manometre belirsizlik sonuçları.....	67
Çizelge 4.11. Fluke 289 Multimetre Cihazı kullanım tuşları ve fonksiyonları	72
Çizelge 4.12. Multimetrenin kalibrasyon sonuçları	78
Çizelge 4.13. Multimetrenin için tekrarlı ölçüm sonuçları	81
Çizelge 4.14. Multimetrenin belirsizlik sonuçları	82
Çizelge 4.15. Osiloskop kalibrasyonunun voltaj ölçüm sonuçları	86
Çizelge 4.16. Osiloskop kalibrasyonunun zaman ölçüm sonuçları.....	87
Çizelge 4.17. Pens ampermetre kalibrasyonunun sonuçları.....	92

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiadaki hızlı gelişmeler ile birlikte günümüzde sanayi, ticaret, savunma, sağlık ve uzay bilimleri gibi alanlarda yapılan çalışmaların başarıyla sonuçlandırılması hassas, güvenilir ve doğru ölçümlere bağlıdır.

Bilimsel araştırma, ticaret, sanayi ve sağlık gibi alanlarda yapılan çalışmaların doğruluğu, güvenilir ve hassas ölçüm çalışmalarına bağlıdır.

Ölçme, insanların toplumsal hayatında çok eski zamanlardan beri önemli bir rol oynamaktadır. Ölçme işlemi farkında olmasak bile günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçasıdır. Örneğin, alışverişte yapılan ölçümler, ürün boyutlarını ölçümü, arazi ölçümleri vs. günlük hayatta insanların karşılaştığı bazı ölçüm faaliyetleridir. Zamanın ölçülmesi, alışveriş yaparken ürünlerin tartılması, ürün üretirken ve pazarlarken yapılan ölçümler ve arazi ölçümleri günümüzde insan yaşamını etkileyen faaliyetler arasındadır. Bu faaliyetlerin nitelikleri ve yapılış şekli ülkelerin gelişmişliği ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde, bilim ve teknolojiadaki ilerlemeler, hassas ve yüksek güvenilirlikle ölçümlere göre gerçekleşmektedir. Böylece, yapılan hassas ve doğru ölçümler neticesinde kaliteli, dayanıklı ve güvenilir ürünler üretilebilmektedir.

Bilim ve teknolojinin gelişmesi ve endüstriyel uygulamaların başarıya ulaşması, hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlerin gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu gün teknolojik ilerleme olarak nitelendirilen birçok çalışma, üretilen ürünlerin kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olmasında en büyük etkendir. Bilim her zaman mümkün olanın sınırlarını genişletir ve temel metroloji bu yeni buluşların metrolojik yönlerini takip eder.

Metroloji biliminin temel amacı, bütün ölçme sistemlerinin temelini oluşturan Uluslararası Bilimler Sistemi (SI) olarak bilinen ve SI'dan türetilmiş ölçüm birimlerini tanımlayarak, teknoloji ve bilimin kullanımına sunmak ve yapılan bütün ölçümlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamaktır (Çetiner 2013).

Güçlü bir metroloji altyapısıyla gerçekleştirilen metrolojik kontroller, teknolojinin gelişmesine paralel olarak daha az hata payı ile gerçekleştirilebilmektedir. Böylece,

metroloji alanındaki gelişmeler, teknoloji ve bilimin ilerlemesine katkıda bulunarak ülke kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

Sağlam metrolojik temele dayanarak yapılan metrolojik kontroller, gelişen teknoloji ile birlikte daha az hata payı ile gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla, metroloji bilimindeki gelişmeler, bilim ve teknolojinin ilerlemesini ve böylece ülke kaynaklarının daha etkin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Anonim 2014).

Metroloji, toplumdaki bireylerin en fazla ihtiyaç duyduğu bilim dallarından biridir. Günümüzde artık birçok evde elektrik, su ve doğalgaz sayaçları kullanılmaktadır. Bunun yanısıra, her türlü alışveriş ve ticarete, sağlıkta, endüstride ve trafikte metroloji biliminden doğrudan yararlanılmaktadır (Anonim 2014).

Metroloji konusu birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda yaygınlaşmıştır. Ürün ve hizmetlere yönelik Kalite Güvencesi Sistemi oluşturmak amacıyla muayene ve deneylerin yaygınlaşması, hemen hemen her büyüklüğün ölçümünü gerçekleştiren cihazların doğruluğunu ve güvenilirliğini yazılı bir belgeye bağlama gereksinimi doğurmuştur (Tunçalp ve ark. 2001).

Bu tez çalışmasında ölçüm sisteminin temelinden bahsedilerek, sanayide kullanılan sıcaklık, basınç ve elektriksel ölçüm yapan kontrol aletlerinin ölçüm yöntemleri incelenmiş ve bu ölçüm aletlerine ait kalibrasyon sonuçlarının yorumlanması ve kontrol aletlerinin ölçüm belirsizliklerinin metrolojik yöntemlerle hesaplanması amaçlanmıştır.

Bu amaçlar ile kullanılan kontrol aletlerinin kalibrasyonlarının yaptırılması ile aşağıdaki faydalar sağlanır.

- Firma içinde yapılan ölçümlerin doğruluğu güvence altına alınır.
- Üretim esnasında meydana gelebilecek farklılığın önüne geçilir.
- Ürün kalitesi bilgisi edinilir.
- Ürünlerin iyi kötü ayrımının yapılması sağlanır. Böylelikle hatalı üretim olması engellenir. Oluşabilecek kayıp ve zararın önüne geçilir.
- Kontrol aletlerinin izlenebilirliği uluslararası standartlara göre sağlanmış olur.
- Müşteri memnuniyeti sağlanarak kaliteli üretim ve sağlanır.

- Hataların tespiti yapılabilir. Tespit edilen hataların düzeltilmesi için fırsat yakalanır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Metrolojiye Giriş

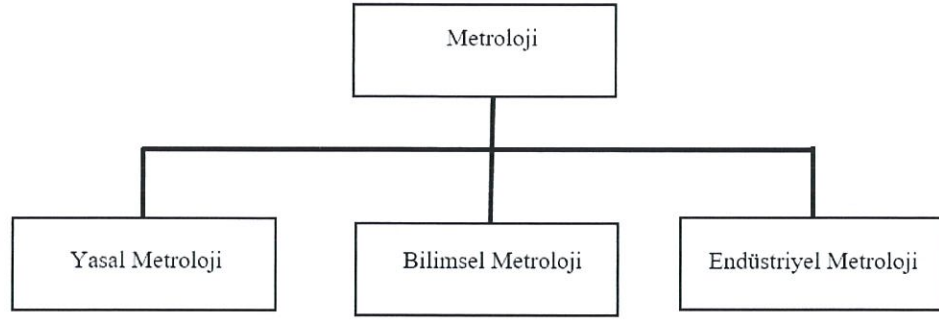
Metroloji kelimesi Yunanca “Metron” kelimesinden türetilmiş ve Türkçe’deki karşılığına “Ölçüm Bilimi” denilmiştir. Uluslararası Metroloji terimleri sözlüğünde ise “Metroloji; Ölçüm ve ölçüm uygulamalarıyla ilgili bilimdir. Metroloji, ölçümle ilgili bütün teorik ve pratik yaklaşımları, ölçüm belirsizliği ve uygulamalarını da içerir” şeklinde tanımlanmıştır.

Metroloji üç ana faaliyeti kapsar:

1. Birimleri tanımlanması: Uluslararası düzeyde kabul görmüş ölçüm birimlerinin tanımlamak: kg, metre, saniye vb.
2. Ölçüm birimi oluşturmak: Bilimsel yöntemlerle birim standartlarının oluşturulması. Örnek; lazerler kullanılarak metrenin elde edilmesi.
3. İzlenebilirlik zincirinin kurulması: Bir ölçüm yapılırken, ölçülen değeri ve ölçüm belirsizliğini ortaya çıkarmak ve bu bilgiyi dağıtmak. Örnek; bir atölyede kullanılan kumpasın birincil seviye uzunluk standardı (kalibrasyon sertifikası ile) belgelenmesi.

Metroloji, doğruluk ve karmaşıklık derecesine göre üç kategoride incelenebilir.

1. Yasal metroloji, ekonomik işlemlerin şeffaflığını etkileyen ve özellikle yasal olarak ölçüm cihazlarının doğrulanma zorunluluğunun olduğu durumlarla ilgilenmektedir.
2. Bilimsel metroloji, ölçüm standartlarının en üst seviyede düzenlenmesi, geliştirilmesi ve korunmasına yöneliktir.
3. Endüstriyel metroloji, endüstride, üretimde ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının, insanların hayat kalitesini arttırmak ve akademik çalışmalarda kullanılmak için yeterli seviyede çalışmalarını sağlamaya yöneliktir (Çetiner 2013).

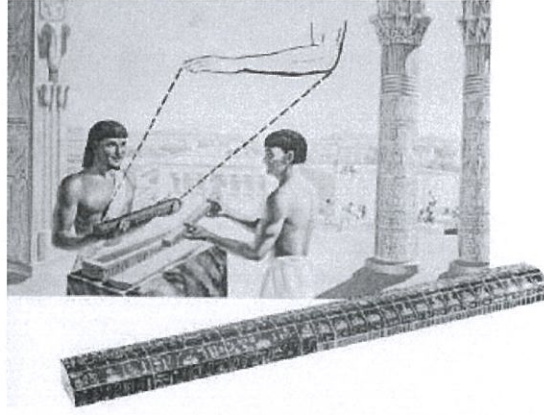


Şekil 2.1. Metrolojinin dalları

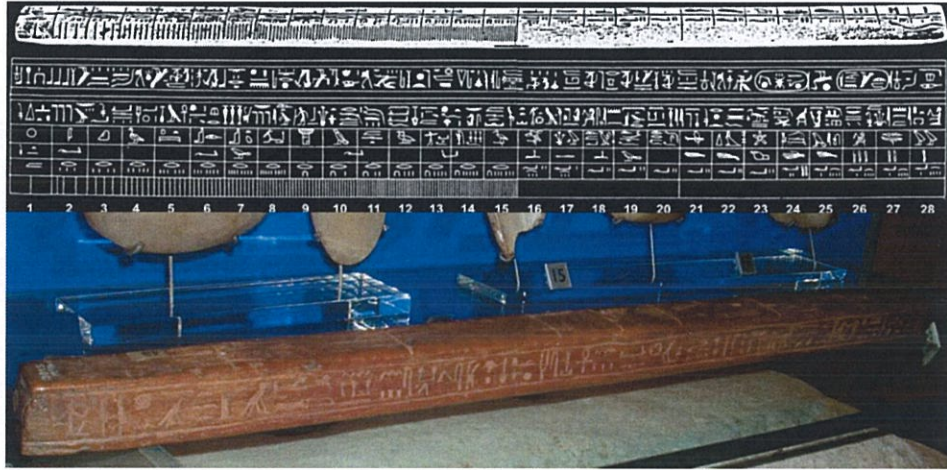
2.2. Metrolojinin Tarihçesi

Eski Mısır'da her dolunayda, standart uzunluk birimini kalibre etme görevini unutan ya da ihmal edenler ölüm cezası ile karşılaşılırdı. Milattan önce 3000 yıllarında Firavunların piramitlerini ve tapınaklarını inşa etmekten sorumlu olan kraliyet mimarları böylesi bir tehlike ile karşı karşıyaydılar. İlk kraliyet uzunluk ölçüsü birimi olan kübit, tahttaki Firavun'un dirseğinden, elinin orta parmağının ucuna kadar olan mesafe ile elinin genişliğinin toplamı olarak tanımlanmıştı. Bu ilk ölçü, siyah granit üzerine aktarılarak kazanılmıştı. İnşaat alanındaki işçilere de granit ya da tahta kopyalar verilmiş olup, bu kopyaları muhafaza etme görevi mimarların sorumluluğundaydı (Anonim 2008a).

- ❑ Piramit'in inşası sırasında kullanılan Cubit, Royal Cubit'e izlenebilirdi.
- ❑ Her formen, her ay kullandığı Cubit'i Royal Cubit ile karşılaştırmak zorunda idi.
- ❑ Karşılaştırma yapılmaması ölüm ile cezalandırılırdı (Bilgiç 2013).



Şekil 2.2. Kübit Örneği (Bilgiç 2013)



Şekil 2.3. Royal Cubit (Anomim 2013)

- ❑ 3000 MÖ Eski Mısır'da Cubit,
- ❑ 1000 MÖ Eski Roma'da Yard,
- ❑ 1795 Fransa'da ortaya çıkan Metrik Sistem,
- ❑ 1875 Metre Konvansiyonunun imzalanması,
- ❑ 1960 SI sisteminin kurulması,
- ❑ 1999 Karşılıklı Tanınma Anlaşmasının imzalanması.

İnsanlar eski zamanlardan beri doğru ölçüm gerçekleştirmeye büyük önem vermişlerdir. Bugünkü Uluslararası Birimler Sistemi–SI sistemi olarak bilinen Metrik sistem, metre ve kilogramı temsil eden iki standardın oluşturulması 1799 yılında Paris'te ile kurulmuştur (Anomim 2008a).

2.3. Kalibrasyon

Belirlenmiş şartlar altında, ölçme cihazının gösterdiği değerler ile ölçülen büyüklüğün doğru değeri ile arasındaki hatanın ulusal veya uluslararası standart ile belgeli bir biçimde ve bilinden bir belirsizlikle ifade edilmesine kalibrasyon adı verilir.

Kalibrasyon Sertifikasında, TS EN 17025 (Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Sartlar) standardında belirtilen yükümlülükler çerçevesinde tanzim edilir.

Kalibrasyon sertifikası SI) sistemine uygun olarak gerçekleştirilmiş olan Ulusal Ölçü Standartlarına izlenebilirliği belgeler. Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları kalibrasyon sertifikasında belirtilir. Kalibrasyon ayar işlemi içermez.

Kalibrasyon tanımından da anlaşılacağı gibi kalibrasyon aslında bir karşılaştırma işlemidir. Karşılaştırma işlemi doğruluğundan emin olunan bir referansa göre yapılmaktadır. Tespit edilen referans değerler ile kalibrasyonu yapılan cihazın söz konusu referans değerleri karşılaştırılarak aradaki fark belgelendirilir. Kalibrasyon işleminin ISO 9000 açısından geçerli olabilmesi için test ve ölçüm cihazlarının kontrolü, kalibrasyonun belirlenmiş koşullar altında yapılması, izlenebilir olması ve belli bir belirsizlikle yapılması koşulları vardır.

2.4. İzlenebilirlik ve Belirsizlik

Eski zamanlarda farklı ölçüm birimlerinin kullanılmasından kaynaklı uluslararası ticarete büyük sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorun dünyadaki tüm ülkelerin kabul edebileceği ölçüm standartlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. İlk olarak, 1872 yılında arşiv metreden türetilmiş %90 platin+ %10 iridyum alaşımından X şeklindeki 20x20 mm'lik kesit alanına sahip metre prototipi oluşturulmuştur. Daha sonra kütle ile uzunluk birimlerini kıyaslayacak ve bu konuda birliği sağlayacak çalışmalar çerçevesinde, Fransa hükümetinin önderliğinde on yedi devlet temsilcisinin (Osmanlı İmparatorluğu'nun da) katılımıyla Paris'te 20 Mayıs 1875 yılında "Metre Konvansiyonu" imzalanmıştır. 1879 yılında ise çapı ve yüksekliği 39 mm olan silindirik kilogram

prototipleri oluşturulmuştur. Böylece; Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (BIPM) kurularak, ülkeler arasında kullanılan ölçüm birimleri konusundaki karmaşıklık giderilmiş ve ölçüm birimleri standartlaştırılmıştır (Anonim 2014).

1889 yılında BIPM öncülüğünde gerçekleştirilen Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda ilk olarak uzunluk için "metre" ve ağırlık için "kilogram" birimleri temel ölçüm birimlerinin esasları olarak belirlenmiştir. Son olarak da, 1960 yılında madde miktarını gösteren "mol" tanımının yapılmasıyla yedi temel ölçüm birimi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Anonim 2014).

- Uzunluk: metre (m),
- Kütle: kilogram (kg),
- Zaman: saniye (s),
- Termodinamik sıcaklık: kelvin (K),
- Elektrik akımı: amper (A),
- Işık şiddeti: kandela (cd),
- Madde miktarı: mol (mol).

2.5. Ölçüm Belirsizliği

Bir cihaz kalibre edildiğinde, ölçümler uluslararası birimler sistemi (SI) gibi ortak bir standarda kadar izlenebilir olmalıdır. Tanım gereği belirsizlik olmadan izlenebilir bir ölçüm yapılamaz, bu da onu tahmin etmemiz ve izlenebilirlik zincirinin her adımında iletmemiz gerektiği anlamına gelir.

Metrolojide, temel unsurlardan biri de ölçümün ne kadar doğrulukta yapıldığının bilinmesidir. Ölçüm sonuçlarının doğru değerlendirilmesi sonuçların güvenilirliğine bağlıdır. Ölçülen aynı büyüklüğün değeri ölçümden ölçüme farklılık gösterir. Her ölçümün sonucunda verilen sayı mutlaka belli bir şüphe içerir. Bu sebeple ölçüm sonucu verilirken ölçülen veya hesaplanan değer belirsizliği her zaman verilmelidir. Genel anlamda ölçüm sonucu, ölçülen bir büyüklük için yaklaşık bir değer veya tahmindir.

Dolayısıyla ölçüm sonucu ancak belirli bir güven seviyesindeki ölçüm belirsizliği ile beraber verildiğinde tamamlanmış olur (Anonim 2013b).

Uluslararası Temel ve Genel Metroloji Terimleri Sözlüğü'nde ölçüm belirsizliği için; “ölçülen büyüklüğe mantıklı bir şekilde atfedilebilecek bütün değerlerin dağılımını karakterize eden ve ölçüm sonucuyla ilişkili olan bir parametredir” (Anonim 2013b) denilmektedir. Ölçüm belirsizliği; izlenebilirliğin ve kalibrasyonun temelini oluşturur.

2.6. GUM (Guide to Expression of Uncertainty in Measurement) Yaklaşımı

Ölçümde Belirsizliği İfade Etme ISO Kılavuzu (GUM) 1993 yılında Comite international des Poids et Mesures (CIPM) ve Uluslararası Ağırlık ve Ölçü Bürosu (BIPM- Bureau International des Poids et Mesures) tarafından ISO / IEC Rehberi 98 olarak hazırlanmıştır. Dünyadaki tüm kalibrasyon laboratuvarları ölçüm belirsizliğini tahmin etmek için GUM yöntemini kullanır (Anonim 2008b).

2.7. Genel Tanımlar ve Kavramlar

2.7.1. Ölçme işlemi

Bir büyüklüğün değerinin belirlenmesini esas alan işlemler dizisidir. Sırasıyla,

- Ölçülecek nesne belirlenir,
- Ölçülecek büyüklük belirlenir,
- Ölçüm yöntemi belirlenir,
- Ölçüm cihazları seçilerek ölçüm düzeneği kurulur,
- Ölçme işlemi yapılır,
- Ölçüm sonuçları değerlendirilir ve kontrol edilir.

2.7.2. Ölçüm sonucu

Ölçüm sonucunda elde edilen büyüklüğü gösteren değerdir. Ölçüm sonuçları tahmini bir değer verdikleri için ölçüme ait belirsizlik ifadeleri de mutlaka verilmelidir. Ölçme

işleminin sonucunda elde edilen değerin aşağıda gösterilenlerden hangisi olduğu açıkça belirtilmelidir.

- **Gösterge Değeri:** Bir ölçüm cihazı ya da ölçüm sistemi ile belirlenen büyüklük değeridir.
- **Düzeltilmemiş Sonuç:** Öncesinde tahmin edilebilen sistematik hatalardan düzeltme yapılmadan elde edilmiş ölçüm sonucudur.
- **Düzeltilmiş Sonuç:** Tahmin edilen sistematik hataları göz önüne alarak düzeltilmemiş sonuçta gerçekleştirilen belirli düzeltmeler sonucunda elde edilen ölçüm sonucudur.

2.7.3. Düzeltme

Tahmini bir sistematik etkinin telafisidir. Telafi ,bir ilave veya faktör gibi farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Matematiksel olarak ters işarete sahip olan düzeltme, öngörülen sistematik hataya eşit olmaktadır. Sistematik hatanın tam olarak bilinmemesi düzeltme işleminin belirsizliğe sahip olmasını sağlamaktadır.

Ölçüm esnasında sırasında ölçüm sisteminden kaynaklanan sistematik hataların önceden belirlenmesi gerekmektedir. Hesaplanan sistematik hataların bir ölçüm sonucuna eklenmesi ya da çıkarılması işlemine düzeltme denir. Sistematik hatalar sonucunda elde edilen belirsizlik faktörleri, ölçüm sonucuna ait toplam belirsizlik bileşenleri içerisinde yer almaktadır.

2.7.4. Düzeltme faktörü

Öngörülen sistematik hatayı düzeltmek amacıyla, ölçüme ait düzeltilmemiş sonuç ile çarpılan sayısal faktördür. Sistematik hataların tam olarak belirlenmemesi nedeniyle bu hatalara karşılık gelen değerlerin kesin olarak saptanması da mümkün olmamaktadır. Fakat tahmin edilen sistematik hata önemli mertebede yani istenilen doğruluktan uzak bir değerde ise bir düzeltme faktörü sistematik hatayı minimum düzeye indirmek amacıyla kullanılabilir. Düzeltme ya da düzeltme faktörü kullanımından sonra sistematik etkiden kaynaklanan hatanın sıfır olduğu varsayılabilir (Kılıç 2019).

2.7.5. Ölçüm hatası

Ölçüm sonucunda elde edilen büyüklük ile referans büyüklüğü arasındaki farktır. Genel olarak, ölçüm hatası, sistematik hata ve rastgele hatanın birleşiminden meydana gelir.

- **Rastgele Ölçüm Hatası:** Tekrarlanan ölçüm sonuçlarında tahmin edilemez bir şekilde değişkenlik gösteren ölçüm hatası bileşenidir.

*Rastgele ölçüm hatası için referans büyüklük değeri, aynı ölçülen üzerinde sonsuz kere tekrarlanan ölçümlerin ortalamasıdır (Sadikhov ve ark. 1995).

*Aynı zamanda, rastgele ölçüm hatası, ölçüm hatasından sistematik ölçüm hatasının çıkarılması sonucu elde edilen değerdir.

Not : Rasgele hata için düzeltme yapmak mümkün değildir.

- **Sistematik Hata:** Tekrarlanan ölçüm sonuçlarında ölçüm hatasının sabit kalan veya tahmin edilebilir şekilde değişen bileşenidir. Gösterim açısından; mutlak hata ve bağıl hata olmak üzere iki şekildedir. Mutlak hata; bulunan ölçüm sonucunu gerçek değer ile farkıdır. Bağıl hata; bulunan farkı mutlak değere elde edilen değerdir.

2.7.6. Hata ve belirsizlik ifadesi

Hata ve belirsizlik geçmişte birbirinin yerine kullanılmış olan iki terimdir. Ancak, her bir terimin anlamı belirgin bir şekilde farklıdır bu nedenle hata ve belirsizlik ifadeleri birbirleri ile karıştırılmamalıdır. Hata, ölçülen değer ile ölçülen gerçek değer arasındaki farktır. Ölçüm belirsizliği, bir ölçüm sonucuyla ilgili şüphenin ölçümüdür.

2.7.7. Ölçüm doğruluğu

Ölçülen büyüklüğün, gerçek değeri (konvansiyonel) ile ölçüm sonucunda elde edilen değer arasındaki uyuşmayı ifade eder. Yani bir ölçümün doğruluğunu nitelemektedir. Bu nedenle, doğruluk rakamsal olarak verilmemeli, rakamlar ölçümün belirsizliği için ifade edilmelidir.

Buna ek olarak, doğruluk yerine kesinlik teriminin kullanımından kaçınılmalıdır.

2.7.8. Ölçüm kesinliği

Bir ölçüm sisteminin kesinliği, aynı koşullar altında tekrarlanan ölçümler arasında ne kadar yakınlığın ilişkisini belirler. Sistemin tekrarlanabilirlik ölçüsüdür.

2.7.9. Doğruluk ve kesinlik kavramları

İki kavram arasındaki en önemli fark, doğruluğun referans noktasının teorik değeri, kesinliğin referans noktasının ise ortalama değer olmasıdır (Karadaş 2003). Aşağıdaki Şekil 2.4'te gösterilen atış tahtası örneğini verecek olursak;



Doğruluğu ve kesinliği kötü



Doğruluğu iyi fakat kesinliği kötü



Doğruluğu kötü fakat kesinliği iyi



Doğruluğu ve kesinliği iyi

Şekil 2.4. Doğruluk ve Kesinlik kavramları için hedef tahtası örneği

2.7.10. Deneysel standart sapma

Aynı ölçülen büyüklüğe ait n adet ölçümden oluşan bir seri için, deneysel standart sapma aşağıdaki formülle hesaplanabilir(Sadikhov ve ark. 1995). Belirsizliği hesaplama yöntemi

$$s_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (2.1)$$

Burada, n ölçüm adetini, s deneysel standart sapmayı, x_i i. ölçüm sonucunu ve \bar{x} ise n adet ölçüm değerinin aritmetik ortalamasını göstermektedir.

2.7.11. Ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği

Ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği; aynı ölçüm yöntemi, aynı gözlemci, aynı ölçme cihazı, aynı konum, aynı şartlar altında kullanılan aynı ölçüm cihazı, kısa zaman aralığı içerisinde, ölçümlerin tekrarlanması koşulları altında aynı ölçülen büyüklüğe ait ardışık ölçüm sonuçları arasındaki uygunluk derecesine bağlıdır ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği sonuçların dağılımına bağlı olarak nicel olarak belirtilir (Sadikhov ve ark. 1995).

2.7.12. Ölçüm sonuçlarının yeniden gerçekleştirilebilirliği

Ölçüm sonuçlarının yeniden gerçekleştirilebilirliği; ölçüm yöntemi, gözlemci, ölçme cihazı, referans standart, konum, kullanım koşulları ve zaman gibi değiştirilebilecek koşullar altında, aynı ölçülen büyüklüğe ait ölçüm sonuçları arasındaki uygunluk derecesini göstermektedir. Yeniden gerçekleştirilebilirliğin geçerli olabilmesi yukarıdaki koşulların tanımlanmasına bağlıdır (Sadikhov ve ark. 1995).

2.7.13. Korelasyon

İki ya da daha fazla rastgele değişkene sahip bir dağılımda, bu iki veya daha fazla rastgele değişkenler arasındaki ilişki olarak tanımlanır.

2.7.14. Güvenilirlik düzeyi

Güven aralığı veya istatistiksel olarak belirlenmiş kapsam aralığı ile ilişkili olasılık değeridir (Kılıç 2019).

2.8. Ölçüm Belirsizliği Bileşenlerinin Hesaplanması

Belirsizliğin belirtilmesi, ölçme sonucunun amaçlanan ölçüm için yeterliliğine ve diğer benzer ölçme sonuçları ile tutarlılığına karar verebilmek için gereklidir. Ölçüm belirsizliği bileşenlerinin hepsinin, birleştirilmiş belirsizliğe olan katkısı eşit düzeyde olmamaktadır. Pratikte, az sayıda belirsizlik bileşeninin önemli ölçüde katkısının olması öngörülmektedir. Ölçüm belirsizliğine katkıda bulunan bileşenler için en büyük ölçüm belirsizliği bileşeninin 1/3 den küçük olması ve belirsiz bileşenlerin sayısının çok fazla olmaması bunların ölçüm belirsizliği hesaplamalarında kullanılmasını gerektirmez. Buna karşılık, bu belirsiz bileşenlerin önemsiz oldukları gösterilmelidir. Bu nedenle yapılan ön çalışmalarla her bileşenin katkısının tahmini yapılmalı veya belirsizlik bileşenleri birleştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun sonucunda da önemsiz olan bileşenler elenmelidir. Bütün standart belirsizlikler hesaplandıktan sonra, $u_c(y)$ ile tanımlanan birleştirilmiş belirsizlik aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u_c(y) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots} \quad (2.2)$$

Burada; u_i ($i=1,2,3\dots$) standart belirsizliği, $u_c(y)$ birleştirilmiş belirsizliği göstermektedir.

2.9. Belirsizlik Faktörlerinin Sınıflandırılması

Belirsizliğin bir dizi gözlem ile istatistiksel analizi yapılarak değerlendirilmesine A tipi standart belirsizlik değerlendirmesi adı verilir. Bu durumda, standart belirsizlik, ortalama alma veya uygun bir regresyon analizi sonucunda elde edilen ortalamanın deneysel standart sapması olmaktadır.

B tipi standart belirsizlik değerlendirmesi ise belirsizliğin bir dizi gözlem ile istatistiksel analiz dışındaki yollar kullanılarak belirsizliğin değerlendirilmesi işlemidir. Bu durumda, standart belirsizliği değerlendirme işlemi başka bilimsel bilgilere kullanılarak gerçekleştirilir (Anonim 2013c).

2.9.1. A tipi standart belirsizlik değerlendirmesi

Bu gruptaki belirsizlik bileşenleri, standart sapma olarak tanımlanır. Tekrarlanan ölçümlerden elde edilen bir dizi sonuç rastgele hata nedeniyle birbirinden az da olsa fark gösterir. Her bir sonuç değerinin ortalamadan farklarının dağılımı kabaca ölçümün belirsizliğini gösterir. Dağılım ne kadar büyükse belirsizlik de o kadar fazla olmaktadır. Standart sapma (s) arttıkça dağılım da yaygınlaşır (Anonim 2013b).

Aynı ölçüm koşulları altında girdi büyüklüklerden biri için çok sayıda bağımsız gözlemin gerçekleştirildiği durumlarda A tipi standart belirsizlik değerlendirmesi uygulanabilir. Ölçüm sürecinde yeterli çözünürlük olması durumunda, elde edilen değerlerde gözlemlenebilir bir dağılım veya yayılma olacaktır (Anonim 2013c).

2.9.2. B tipi standart belirsizlik değerlendirmesi

Girdi değerlerinin istatistiksel analizi dışındaki yollarla yapılan belirsizlik değerlendirme yönetimi, B tipi standart belirsizlik değerlendirmesi olarak adlandırılır. Mevcut bilgilere dayanan bilimsel akıl yürütme ile değerlendirilir.

B tipi standart belirsizlik değerlendirmesinin doğru uygulanması deneyim ve genel bilgiye dayanan bir anlayış gerektirmektedir. Bu da, uygulama ile öğrenilebilen bir beceridir. Sağlam temelli bir B tipi standart belirsizlik değerlendirmesi özellikle A tipi değerlendirmenin nispeten daha düşük sayıda istatistiksel olarak bağımsız gözleme dayandığı ölçüm durumlarında sağlanır ve bu durum için bir A tipi standart belirsizlik değerlendirmesi kadar güvenilir olabilir (Anonim 2013c).

2.9.3. Standart belirsizlik

Toplam belirsizlik hesaplanırken öncelikle tek tek bütün belirsizlik kaynaklarından elde edilen belirsizlikler irdelenmeli ve ayrı ayrı katkılarına değer biçmek gereklidir. Tüm bileşenlerden gelen belirsizlik standart dağılım olarak ifade edilir ve buna “standart belirsizlik” denir.

2.9.4. Birleştirilmiş standart belirsizlik, u_c

Bir ölçümün pek çok sayıda başka büyüklüklerin ölçüm sonuçlarından elde edilmiş sonucun birleşik standart belirsizliği, bu büyüklük değerlerindeki değişimlerin ölçüm sonucunu nasıl etkilediği de dikkate alınarak hesaplanan varyans veya kovaryans ifadeleri toplamının pozitif kare köküne eşittir (Kılıç 2019).

Birleşik belirsizlik, A-tipi ve B-tipi değerlendirme sonucunda uygun bir birleşimden elde edilen belirsizlik ifadesidir.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)} \quad (2.3)$$

2.9.5. Genişletilmiş belirsizliğin hesaplanması

Birleştirilmiş belirsizlik değerinin güven aralığına bağlı olarak belirlenen kapsam faktörü (k) ile çarpılması sonucunda Genişletilmiş Belirsizlik $U(y)$ hesaplanır.

$$U(y) = k \cdot u_c(y) \quad (2.4)$$

EA (European Accreditation) tarafından akredite edilmiş kalibrasyon laboratuvarları, genişletilmiş ölçüm belirsizliği U değerini beyan etmek zorundadırlar. U değeri, çıktı tahmini olan y 'nin birleştirilmiş standart belirsizliğinin $u_c(y)$ bir kapsam faktörü k ile çarpımından elde edilmektedir: $U = k u_c(y)$. Ölçülen büyüklük, normal (Gauss) dağılımı ve yeterli güvenilirliğe sahip standart belirsizliğin olduğu durumlarda, standart kapsam faktörü $k = 2$ olacak şekilde kullanılabilir. Böylece ilgili genişletilmiş belirsizlik yaklaşık %95 oranında bir olasılığa karşılık gelmektedir. Belirtilen bu koşullar kalibrasyon çalışmalarında karşımıza çıkan birçok durum için sağlanır. % 99 güven aralığı için kapsam faktörü ise 3'dür (Anonim 2013c).

2.10. Belirsizliğin Olası Nedenleri

- Ölçülen değer tanıtılmasındaki noksanlık
- Ölçülen değer tanıtımının gerçekleşmesindeki noksanlık
- Ölçüm şartları ve çevre koşullarında meydana gelen değişim

- Analog cihazların okunması sırasında personeldeki eğilim
- Ölçüm cihazlarının sonlu çözünürlüğü
- Ölçüm standartlarının ve referans malzemelerin değerlerinin tam olarak bilinmemesi
- Dış kaynaklardan elde edilen sabit parametrelerin değerlerinin tam olarak bilinmemesi
- Ölçüm yöntemi ve işleminde kullanılan yaklaşımlar veya ekstrapolasyonlar (Anonim 2018b).

Ölçüm koşulları tekrarlanabilirliği ne kadar sağlanırsa, istatistiksel iddialar o kadar güvenilir olur. Bu nedenle, tanımlanan ölçüm koşullarının, aynı ölçüm sistemi kullanılarak (ölçüm cihazı), aynı ölçüm nesnelere, ölçüm prosedürü ve istikrarlı koşullar altında, aynı operatör tarafından gerçekleştirilmelidir.

2.11. Belirsizlik Hesaplarında Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar

İstatistiksel dağılım altı tipte incelenmektedir.

- Student Dağılım (t dağılım)
- Normal Dağılım
- Dikdörtgen Dağılım
- Üçgen Dağılım
- Trapezoidal Dağılım
- U-Tipi Dağılım (Anonim 2018b).

Student, normal ve dikdörtgen dağılımlar metrolojide en sık kullanılan dağılımlardandır.

- **Student Dağılım (t dağılım):** Student dağılım, normal dağılımın benzeri olup, ölçüm sayısının kısıtlı olduğu durumlarda ($n < 10$) kullanılmaktadır.
- **Normal Dağılım**
Ölçüm sonuçlarının dağılımı aşağıdaki formül ile tanımlanır:

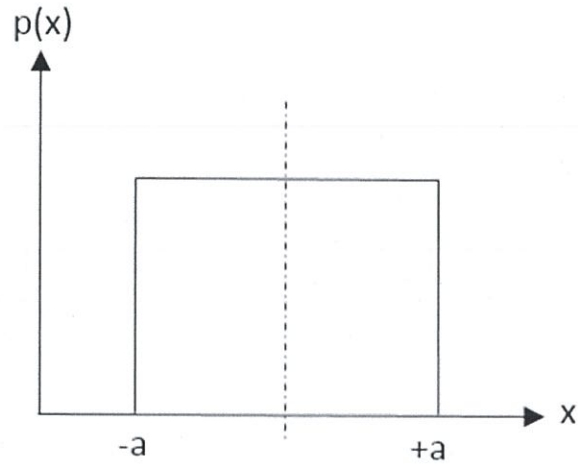
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x - \mu)^2} \quad (2.6)$$

Burada, x , ölçüm sonucunu, μ , ölçülen büyüklüğün gerçek değerini ve σ standart sapmayı göstermektedir.

- **Dikdörtgen Dağılım**

Dikdörtgen dağılım, bir büyüklüğün sadece değişim gösterebilecek aralık değeri bilindiği durumlarda kullanılır (Anonim 2018b).



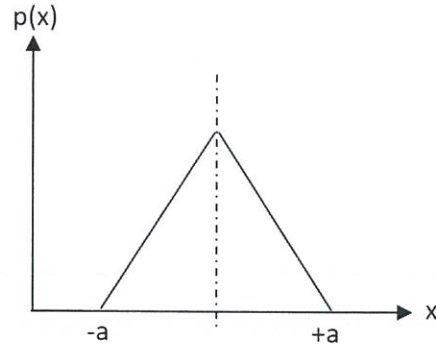
Şekil 2.5. Dikdörtgen dağılım

$$u(x) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

Burada, $p(x)$ olma ihtimali, x okunan değeri, a sınır değeri $u(x)$ ise standart belirsizliği temsil eder.

- **Üçgen Dağılım**

Üçgen dağılım, bir büyüklüğün değişim gösterebilecek aralık ve eğilim bilindiği durumlar için kullanılır (Kılıç 2019).



Şekil 2.6. Üçgen dağılım

$$u(x) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{6}} = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2.8)$$

2.12. Belirsizlik Hesaplama Yöntemleri

2.12.1. A-Tipi belirsizlik hesaplama yöntemi

Tekrarlanan ölçüm sonuçlarına, istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan A-tipi belirsizlik hesaplama yöntemi uygulanır. Normal Dağılım ve student dağılımı A-tipi belirsizlik hesaplama yönteminde kullanılan dağılımlardandır (Anonim 2018b).

2.12.2. B-Tipi belirsizlik hesaplama yöntemi

B-tipi belirsizlik hesaplama yöntemi istatistiksel yöntemler kullanılmadan yapılmaktadır. B-tipi Belirsizlik hesaplama yönteminde kullanılan bilgiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Önceden yapılmış olan ölçüm verileri,
- Üreticinin spesifikasyonları,
- Kalibrasyonda ve diğer sertifikalarda yer alan veriler,
- El kitaplarından alınan referans veriler (Anonim 2018b).

İlgili malzemeler veya cihazların davranışları ve özelliklerine dair tecrübe veya genel bilgi ile ilgili belirsizlikler gibi yollardan elde edilebilir. Dikdörtgen dağılımı, üçgen dağılımı ve U-tipi dağılımı, B-tipi belirsizlik hesaplama yönteminde kullanılan dağılımlardandır.

2.13. Belirsizliğe Etki Eden Başlıca Faktörler

- Kullanılan referans cihaz / ekipmandan gelen belirsizlik
- Okuma Belirsizliği
- Homojenden Gelen Belirsizlik
- Stabilizasyondan Gelen Belirsizlik
- Tekrarlanabilirlikten Gelen Belirsizlik
- Operatörden kaynaklanan belirsizlik
- Çevre şartlarından gelen belirsizlik

2.14. Ölçüm Belirsizliğinin Raporlanması

Ölçüm belirsizlik tahmini, deney veya analiz sonucunun, belirlenmiş bir toleransı veya sınır değeri, belirsizlik uygulandıktan sonra aşması durumunda, müşterinin deney veya analiz işini talebi halinde, deney/analiz sonuçlarının uygulanması veya geçerliliği için gerekli olduğunda deney sonucuyla beraber rapor edilmelidir.

Belirsizlik hesaplarının sonucunda verilen raporda; deney verileri ve girdi büyüklükleri kullanılarak, ölçüm sonuçları ve ölçüm sonuçlarının belirsizliklerini hesaplama yöntemi açıklanmalıdır. Bütün belirsizlik bileşenleri ile birlikte bu bileşenlerin hesaplama yöntemini belirtmelidir. Hesaplamalarda kullanılan tüm düzeltme değerleri ve sabitler açıklanmalıdır.

2.15. Kaynak Araştırması

Sıcaklık ölçümünü yapmak için pek çok metot kullanılır. Gür (1997) tez çalışmasında sıcaklık ölçümünde iki farklı metot kullanmıştır. Bunlar, sabit noktalarla gerçekleştirilen kalibrasyon ve karşılaştırma metoduna göre yapılan kalibrasyon metodlarıdır.

Sabit noktalar kullanılarak yapılan kalibrasyonlar Uluslararası sıcaklık skalası ITS90 ölçeğine göre, karşılaştırma metodu kullanılarak yapılan kalibrasyonlar ise genellikle sıvı banyolar, fırınlar ve standart termometre kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada ısı çiftlerinin çalışma prensibinden bahsedilmiş ve belirsizlik hesaplamaları yapılmıştır.

Isıl çift sensörlü dijital termometrelerin benzetim yöntemi ile kalibrasyonunun yapılmasının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aliye Kartal ve ark. (1997) -40°C ve 550 °C aralığında olan sıcaklık kontrol aletlerinin karşılaştırmalı kalibrasyonunu Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-90'a göre incelemiş ve ölçüm sonuçlarının doğru değerlendirilebilmesi için de ölçüm belirsizlikleri hesaplarını yapmışlardır. Karşılaştırmalı sıcaklık kalibrasyonları için çalışma aralıklarına göre farklı türlerde sıcaklık banyoları kullanılmıştır. ITS-90 sıcaklık ölçeğinde izlenebilirlik şartları belirlenmiştir.

Bilim ve teknolojinin gelişmesi ve endüstriyel uygulamaların başarıya ulaşması, hassas, doğruluğu yüksek ve güvenilir ölçümlerin gerçekleştirilmesine bağlıdır. Sanayide kullanılan sıcaklık ölçüm teknikleri kalibrasyon metotları açısından Bayraklılar (2005) tarafından incelenmiştir. Sıcaklık ölçümünde referansların belirlenmesi ve hassas sıcaklık ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiği hakkında bilgi verilmiştir.

Ölçüm belirsizlikleri hesaplanarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve kalibrasyon sonuçlarının hesaplanması için oluşturulan programın kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Wüest vd. (2007), vakum göstergelerinin daha hızlı bir şekilde kalibre edilmesi için özel bir oda tanımlayarak, ölçümleri DIN 28418 normuna göre yapmışlardır. Ölçüm belirsizlikleri dikkate alınarak tekrarlı ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Referans basınç değerine bağlı olarak test basınç ölçümleri sonucunda bulunan standart sapma değerine göre sensörlerin tekrar üretilebilirliği gösterilmiştir. Kalibrasyon süresinin azalması ile daha ekonomik yol oluşturacağı sonucuna varılmıştır.

Can (2008) tez çalışmasında, metroloji biliminin oluşumundan bahsederek uluslararası ve ulusal metroloji ile ilgili kuruluşlar hakkında bilgi vermiş, kalibrasyon ve akreditasyon konuları üzerinde durmuştur. Kalibrasyonlar esnasında karşılaşılan uygunsuzluk kaynakları belirlenerek istatistiksel analizleri ve uygunsuzlukların azaltılması için çalışmalar yapılmıştır.

Altın (2010) tez çalışmasında, sıcaklık ölçümlerini farklı kalibrasyon metodları kullanarak birbirleri ile kıyaslamamıştır ve üstün olan ölçüm modelini belirlemiştir. Sıcaklık kalibrasyonu esnasında ölçümleri etkileyen hata faktörleri modellenmiş ve ölçüm belirsizlikleri hesaplanmıştır.

Kojima ve Kobata (2012), basınç transformatörlerinde 10 kPa'nın altındaki basınç aralığını kalibre etmek için yeni bir kalibrasyon sistemi geliştirmişlerdir. İlk olarak, piston kütlesi ve ağırlıkları tarafından oluşturulan sistem basıncı, bir çizgi basıncı oluşturmak için sabit tutulduktan sonra piston üzerine küçük bir ağırlık yüklenmiş ve ağırlık ile sistem üzerinde bir basınç oluşturularak 10kPa'a kadar basınç kalibrasyonu yapılmıştır. Aynı zamanda, kalibrasyon sistemi kullanılarak üretilen basıncın belirsizlik hesabı da yapılmıştır. Daha az belirsizlik ve daha verimli çalışma ile basınç kontrol sisteminin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Çetiner (2013) tez çalışmasında, yüksek frekanslı test ve ölçüm cihazlarının kalibrasyonları ve ölçüm belirsizliklerinin hesaplarını yapmıştır. Ölçümleri yapılan güç ve frekans büyüklüklerinin modelleri tasarlanmış ve ölçümü etkileyen belirsizlikler tespit edilmiştir. Bu belirsizlik değerlerinin hesaplanabilmesi için yeni modeller geliştirilmiş, geliştirilen modeller, kalibrasyon yazılımında kullanılmıştır.

Faciolla vd. (2016) dinamik basınç sinyalinin ölçen basınç sensörünün cevap zamanını analiz etmişlerdir. Basınç sensörü, lineer ikinci mertebe bir sistem olarak modellenmiş ve girdi sinyalinin matematiksel modeli şok tüpü teorisi kullanılarak çıkarılmıştır. Sensör parametrelerinin türleri verilmiş ve deneysel veriler ile beklenen sensör cevabı kıyaslanmıştır. Bu çalışmada belirsizlik hesabı Monte Carlo metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ele alınan sistemde, sönümlemeyi tahmin etmek için iki yaklaşım kullanılmıştır. İlki ilk tepe noktasının, ikincisi ise ardışık iki tepe noktasının değerlerinin kullanılmasıdır. İkinci yaklaşım kullanılarak elde edilen zaman tepkisinin, sensörün deneysel çıkış sinyaliyle daha iyi bir uyum gösterdiği saptanmış ve bu nedenle sensör karakterizasyonu için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çok işlevli elektriksel cihazların, dijital multimetre ve kalibratör gibi kontrol aletlerinin direnç kalibrasyonları Capra ve Galliana (2016) tarafından araştırılmıştır. Kalibrasyonlar uluslararası standartlara bağlı ulusal metroloji enstitüsünde yapılarak izlenilebilirliği sağlanmıştır. Kalibrasyonlar belirli sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm belirsizliği, ölçüm sonuçlarını ifade etmek için önemli bir parametredir. Chen ve Chen (2016) ölçüm belirsizliğini, ölçümdeki belirsizliğin ifadesi olan (GUM) yöntemi ve Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, GUM ve Monte Carlo simülasyon sonuçlarına göre ölçüm belirsizliğinde farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte, ölçüm performansını geliştirmek için GUM'dan elde edilen duyarlılık katsayısının etkili olduğu gözlenmiştir. Belirsizlik bütçesi belirlenerek A tipi veya B tipi belirsizlikleri hesaplanarak belirsizliğe en fazla etki eden iki kriter belirlenmiştir. Belirsizlik hesaplamalarında GUM metodunun Monte Carlo yöntemine göre önemli bir fark yarattığı gözlenmiştir.

Olencki ve Mroz (2017) elektrik sayacı ve transformatör aletlerinin kontrolü için elektrikli pens ampermetre tasarlamışlardır. Bu çalışmada, 5A ile 1000A arasındaki AC akım değerlerinde pens ampermetrelerin kalibrasyonu için akım problemleri geliştirilmiştir. Örnek olarak tam otomatik kalibrasyon sisteminin çözümü gösterilmiş ve ölçüm sonuçları ile sisteme ait belirsizlik hesapları üzerinde durulmuştur.

Wang vd. (2017) otomatik test cihazlarının optimal kalibrasyon aralığını değerlendirmek için bir yaklaşım önermiştir. Kalibre edilen kontrol aleti, bilgisayara bağlanarak otomatik olarak ölçümleri yapılmaktadır. Kalibrasyon aralıklarının belirlenmesi (iki ardışık zaman arasında kalibrasyon) çok önemli bir sorundur. Eğer kalibrasyon aralığı uzun ise, toleransı aşma durumunda kalite riski artacak; kalibrasyon aralığı kısa ise israf olacaktır.

Yang vd. (2018) AC / DC voltaj transfer kalibrasyon sistemini bir anahtarlama rölesi ve otomatik kontrol programı ile geliştirmişlerdir. AC/DC switch düzenlerinin zaman analizleri yapmışlar ve ölçüm almak için gerekli olan stabil zamanı hesaplamışlardır. Yeni stabilizasyon zamanı ile genel ölçüm süresinin % 15 oranında azaltılabilir olduğunu belirlenmişlerdir.

Darbe basınç üreticisi, dinamik basınç kalibrasyonu için yaygın olarak kullanılır. Basınç jeneratörü bazlı doğrusal olmayan kütle yay sisteminin tüm sürecinin dinamik analizi ve modellenmesi yoluyla, işlemin muhtelif durumlarına karşılık gelen sayısal simülasyonlar gerçekleştirilir. Sayısal analiz ve deneyler, çekiç ile piston arasındaki tekrarlanan çarpışmanın, yüksek frekanslı salınımın doğrudan nedeni olduğunu göstermektedirler. Model ve deneylere dayanarak, havanın, kırıcı kütlelerin, piston boyutunun ve kütlelerinin, sönümlemenin ve etki basıncının yüksek frekanslı salınım özelliklerine etkileri Yang ve ark. (2018) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan yüksek frekanslı salınım problemleri için dinamik model tasarlanmıştır.

Basınç sensörlerinin dinamik kalibrasyonu için silindir içinde bir piston primer standardının geliştirilmesi Svete vd. (2018) tarafından incelenmiştir. Silindir içi pistonlu bir basınç üretici tarafından üretilen zamanla değişen basınç, izotermal olarak değerlendirilebileceği, en yüksek ve en düşük titreşim frekanslarında statik basınç ve uzunluk ölçümleri ile izlenebilmektedir. Basınç sensörleri genellikle Uluslararası Birimler Sistemi'ne (SI) metrolojik izlenebilirliği sağlamak için statik basınç standartlarını kullanarak kalibre edilir.

Bu çalışmada, pistonlu yer değiştirmenin küçük bağıl genliklerinde elde edilen ölçümler, piston yer değiştirmesinin farklı genlikleri analitik sonuçlarla kıyaslanmıştır. Küçük piston yer değiştirmelerinde, pistonun yer değiştirmesinin genliğindeki değişimin, silindir içindeki pistonun dinamik basınç kalibratöründeki ısı transfer sürecini önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir.

Pnömatik piston ölçerler için entegre ve otomatik kalibrasyon sistemi Yang ve ark. (2019) tarafından tasarlanmıştır. Kullanılan dönüştürücü destekli kalibrasyon sisteminde, dönüştürücü hattının ölü hacminin etkileri, denge durumundaki sapmalar ve dönüştürücü hattının çözünürlük parametresi detaylı olarak araştırılmıştır.

Grégis (2019) Uluslararası Metroloji Sözlüğü'nde "ölçüm belirsizliği" için önerilen dördüncü bir tanım ele geliştirmiştir. Bu makale, uluslararası metroloji sözlüğünde belirtilen tanımları yeniden gözden geçirmeyi amaçlamaktadır.

Malzemelerin elektriksel özellikleri farklıdır; bazıları iyi elektrik iletkenleridir (örneğin metaller), bazıları ise iyi yalıtkanlardır (örneğin plastikler). Her tür malzemenin elektriksel özelliklerini ölçebilecek tek bir teknik veya enstrüman yoktur. Elektriksel özellikler tüm malzemelerin temel bir fiziksel özelliğidir. Malzemelerin direncini doğru bir şekilde ölçmek gereklidir. Ghorbani ve Taherian (2019) elektriksel direnç ölçmek için birkaç farklı deneysel teknik tanımlamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sıcaklık Kalibrasyonu

Sıcaklık, fiziksel olarak ölçülen parametrelerden biridir. Günümüzde, farklı metotlar kullanılarak sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir. Sıvılı cam termometre (LIG), ısılıft (TC), termistör, direnç sıcaklık detektörleri (RTD), standard platin direnç termometreleri (SPRT), platin direnç termometreleri (PRT) gibi değişik ölçüm cihazları sıcaklık ölçmek için kullanılabilir (Anonim 2018a).

Uluslararası sıcaklık ölçeği "ITS-90" dır. 1927 yılında CGPM (Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı) tarafından ilk uluslararası sıcaklık ölçeği "ITS (The International Temperature Scale)-27" olarak kabul edilmiş. Platin direnç termometresi sıcaklık interpolasyon cihazı olarak uluslararası sıcaklık ölçeğinde kullanılmıştır. Daha sonra bu skala 1948'de "ITS-48", "IPTS-48(International Practical Temperature Scale of 1968)" olarak değiştirilmiştir (Işık ve ark. 1995).

En son olarak 1990 yılında Milletlerarası Sıcaklık Skalası "ITS 90" (The International Temperature Scale of 1990) kabul edilmiştir (Işık ve ark. 1995).

Termodinamik sıcaklık olarak bilinen temel fiziksel miktarın birimi, T sembolü ile gösterilir. Kelvin suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının $1/273.16$ 'sı olarak tanımlanır ve birimi K'dir. Buz noktası $273,15$ °K'dir ve celcius sıcaklığı sembolü T° dir. Celcius sıcaklık birimi °C'dir. Sıcaklık farkı Kelvin veya Santigrat (Celcius) derece cinsinden ifade edilebilir.

Buradan; °C= °K-273.15 tanımlanmıştır. 1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90) Kelvin Sıcaklığı sembolü T_{90} sembolü Uluslararası Santigrat Sıcaklığı sembolü t_{90} olarak tanımlanmıştır. T_{90} ve t_{90} arasındaki ilişki, T ve t arasındakile aynıdır.

3.1.1. Platin direnç termometreleri

Direnç termometreleri, iletken bir teldeki direnç değerinin sıcaklık ile değişmesiyle oluşturulan bir sıcaklık algılayıcısıdır.

Bir standart platin direnç termometresinin IST-90 sabit noktalarında kalibrasyonu yapılabilmesi için Platin Direnç Termometresi (PRT) yüksek saflıkta platin tel sarımı içerir. Diğer sensör tiplerine göre, PRT elementinin direnci, sıcaklık ile en doğrusal değişimi gösterir. Standart Platin Direnç Termometresi (SPRT), sanayide ve Ulusal Standard Laboratuvarlarında, 1990 (ITS-90)'a göre sıcaklık skalası izlenebilir yüksek doğrulukta sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır (Anonim, 2018a). PRT ile sıcaklık ölçümü yapılırken, sıcaklık değişimi ile sensör elemanı direnci arasındaki korelasyon, doğrusal denklemler ve katsayılar kullanılarak sağlanmaktadır. Platin reaksiyona girmeyen bir metaldir ve kolayca ince tellere çekilebilir. Platinin bu özelliklerinden dolayı termometrede bir algılama elemanı olarak kullanılır. Aşağıdaki formülde α sıcaklık değişim faktörünü göstermektedir. Formülde de gösterildiği gibi α , 100°C'deki standart direnç değerinin 0°C'deki direnç değerinin farkının 100 R₀'a bölünmesi ile elde edilmektedir

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / 100R_0 \quad (3.1)$$

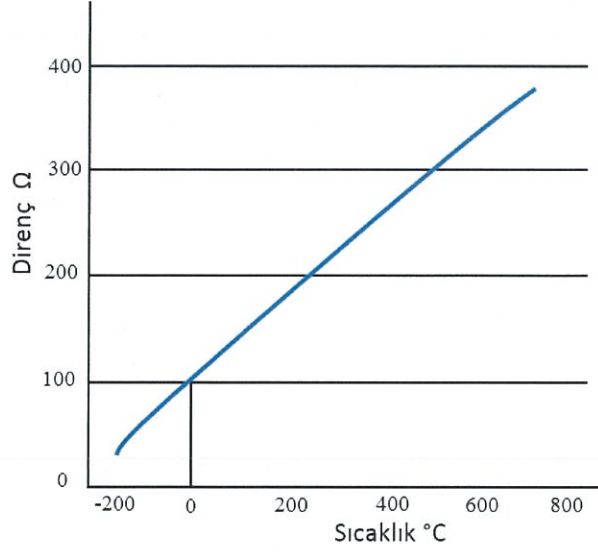
Yukarıdaki formülde, α sıcaklık değişim faktörü, R₀, 0°C'deki direnç değerini ve R₁₀₀, 100°C'deki direnç değeri göstermektedir. Pt-100 ve Ni-100 gibi en çok kullanılan direnç termometrelerin 0°C'deki direnç değeri standart 100 ohm'dur (Anonim 2007a).

0-100°C arasında sıcaklık değişim faktörleri sırasıyla Platin için $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} (1/^\circ\text{C})$ ve Nikel için $\alpha = 6.17 \cdot 10^{-3} (1/^\circ\text{C})$ alınır (Anonim 2007a).

Direnç termometresi, metal tellerin sıcaklık ile dirençlerinde gözlenen değişimi ölçme prensibine göre çalışır. Platin telden yapılan direnç sensörlerinin direnci özel sıcaklığın bir göstergesidir. Yüksek sıcaklıklarda (0 °C – 850 °C) direnç değeri daha yüksek olurken, daha düşük sıcaklıklarda (-200 °C – 0 °C) direnç değeri düşük olacaktır.

DIN EN 60751'e normuna göre PT100 0 °C'de 100 Ω'dur. Bu nedenle PT100 olarak adlandırılmaktadır (Anonim 2008c).

Platinin direnci sıcaklıkla doğrusal olarak artar ve metalin bu özelliği sıcaklığı ölçmek için kullanılır. Platinin direnci, alternatif veya doğru akım içinden geçirilerek ölçülür. Akım nedeniyle voltaj, voltmetreden ölçülen metal boyunca indüklenir. Gerilimin okunması, kalibrasyon denklemi yardımıyla sıcaklığa dönüştürülür.



Şekil 3.1. PT100 Sıcaklık-Direnci grafiği (Anonim 2008c)

Korozyona karşı dayanıklılığı, çalışılabilmesi kolay, elektrik özelliğinin iyi olması nedeniyle platin direnci termometreleri sıklıkla kullanılır.

3.1.2. Isıl Çiftler (Termokupl)

Isıl çift veya Termokupl olarak da adlandırılan sıcaklık sensörleri, iki farklı alaşımdaki metalin uçlarının birleştirilmesi ile meydana gelen bağlantı noktasında sıcaklıkla orantılı olarak küçük bir gerilim sinyali üretmektedir. Birinci bağlantı noktası sensör, probun uç noktasında yer alırken, ikinci bağlantı noktası ise ölçü aletine bağlıdır. Ölçüm cihazı ile ısı çiftinin uç noktasındaki gerilim işareti ile referans bağlantı sıcaklığı ölçülmektedir. Bu iki ölçüm değerinin hesaplanması sonucunda probun uç noktasındaki sıcaklık değeri hesaplanır.

İletkenlerin ısıtılmasıyla iletkenlerin içlerinde bulunan elektronlarda bir hareketlenme görülür. Fakat bu elektronlardaki hareketlenme çeşitli iletkenler arasında farklılık

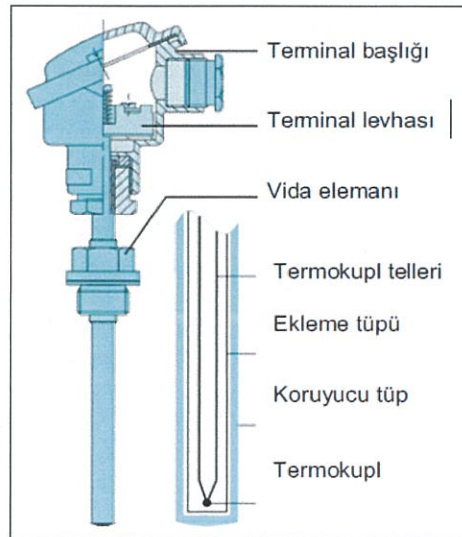
gösterebilmektedir. Bu durum maddenin ayırt edici özelliklerinden birisidir. Eğer, iki farklı iletkenin boşta kalan uçlarına hassas bir voltmetre bağlanıp, kaynaklanan uç ısıtılırsa voltmetrede sıcaklıkla orantılı olacak şekilde mV mertebesinde bir doğru akım gerilimi elde edilir. Elde edilen bu gerilim değeri, kullanılan metalin sıcaklığa verdiği tepki ile orantılıdır (Anonim 2019b).

Soğuk nokta uçlarında sıcaklık farkıyla orantılı olacak şekilde mV mertebelerinde gerilim üretilir. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim meydana getirir. Sıcak ve soğuk noktadaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim bu iki nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olmaktadır (Anonim 2019a).



Şekil 3.2. İki farklı iletkenin uç noktalarından kaynaklanması (Anonim 2019a).

Termoelektrik devre tellerin sıcak (Enerjisi düşük) olan bölgelerinden, soğuk (enerjisi daha düşük) olan bölgelere doğru bir elektron transferi veya elektrik akımı oluşur.



Şekil 3.3. Termokupl yapısı (Anonim 2008c).

3.1.3. Blok kalibratör

Bir blok içerisinde kontrol edilebilen sıcaklık oluşturularak, aynı bloğun içerisinde açılmış yuvalarda termometre kalibrasyonu yapabilmek için geliştirilmiş cihazdır.



Şekil 3.4. Kuru ve sıvı blok banyoları

Kuru blok, sıvı banyoları gibi çeşitleri vardır. Blok üzerinde yer alan delikler içerisine sıcaklık sensörü daldırılarak ölçümleri yapılır.

Sıvı banyosunun temel faydaları, daha iyi sıcaklık homojenliği ve stabiliteye sahip olmasıdır. Sakıncaları ise daha büyük boyutta, daha ağır, sıcak sıvılarla çalışma, daha düşük taşınabilirlik ve genellikle kuru bloklardan daha yavaş olmasıdır. Kuru bir bloğun temel faydaları, sahada gerçekleştirilmesinin kolay olması ve etrafta taşırken akacak sıcak sıvı olmamasıdır. Ayrıca, kuru bir blok kalibre edilen sensörleri kirletmez. Kuru bloklar için dezavantaj olarak, sıvı banyosundan daha düşük doğruluk / stabiliteye sahiptir ve çok kısa ve şekil farklılığı olan sensörleri kalibre etmek daha zor olabilir.

3.1.4. Kızılötesi termometresi (Infrared termometre)

Tüm nesnelere kızılötesi radyasyon (IR) şeklinde ısı yayar. Kızılötesi termometre, sıcaklığı temassız ölçmek için kullanılan cihazlardır. Kızılötesi termometre, temassız biçimde bir gövdedeki sıcaklığı infrared (kızılötesi) ışını ölçerek yapmaktadır.

Tasarım temel olarak, kızılötesi termal radyasyonu, oda sıcaklığını telafi ettikten sonra sıcaklık birimlerinde gösterilebilen bir elektrik sinyaline dönüştüren bir detektöre odaklamak için bir mercekle oluşur. Bu, ölçülecek nesneyle temas etmeden uzaktan ölçüm yapılmasını sağlar. Temassız bir kızılötesi termometre, termokupulların veya diğer prob tipi sensörlerin kullanılmadığı veya çeşitli nedenlerle doğru veri üretmediği durumlarda sıcaklığı ölçmek için kullanışlıdır. Farklı yüzey tipleri, farklı miktarlarda

kızılötesi enerji yayar. Emissivite, bir nesnenin kızılötesi enerji yayma kabiliyetinin ölçüsüdür. Yayılan enerji nesnenin sıcaklığını gösterir. Emissivite, 0'dan (örneğin ayna gibi parlak bir yüzeye) 1.0'a (kara cisim) kadar bir değere sahip olabilir. Organik, boyalı veya oksitlenmiş yüzeylerin çoğu, 0,95'e yakın emisivite değerlerine sahiptir.

3.1.5. Şartlandırıcı fırın

Şartlandırıcı fırın cihazları, sıcaklığı ayarlanabilen, belirli bir veya birkaç sıcaklıkta çalışabilen kabinlerdir. Şartlandırıcı fırın cihazları, iç hacmi çevreleyen ısıtıcıların ortamı ısıtarak istenen sıcaklığın kontrol altında tutulmasını sağlar. Cihazın sıcaklık kontrolü, yerleşik olarak bulunan dijital kontrolör ve mekanik termostat ile yapılır (Fidan ve ark. 2010).

Kullanım amacına göre değişik isimler alabilirler. Örnek sterilizatör, inkubatör, buzdolabı, derin dondurucu, fırın vb. İç hacim içerisinde sıcaklık ölçümü yapılırken sıcaklık sensörleri serbest ve sarkar durumda olmalıdır yani yüzeylere temas etmemelidir.



Şekil 3.5. Şartlandırıcı fırın

3.2. Basınç Kalibrasyonu

Basınç, üzerine kuvvetin dağıldığı birim alandaki bir nesnenin yüzeyine dik olarak uygulanan kuvvettir. P ile gösterilmektedir. Basıncı ifade etmek için çeşitli birimler kullanılır.

Çizelge 3.1. Basınç dönüşüm tablosu (Anonim 2019c)

	<u>pascal</u> (Pa)	<u>bar</u> (bar)	<u>teknik atmosfer</u> (atm)	<u>atmosfer</u> (atm)	<u>torr</u> (mmHg)	<u>pound-kuvvet/ inch*inch</u> (psi)
1 Pa	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	10^{-5}	1.0197×10^{-5}	9.8692×10^{-6}	7.5006×10^{-3}	145.04×10^{-6}
1 bar	100 000	$\equiv 10^6 \text{ dyn/cm}^2$	1.0197	0.98692	750.06	14.504
1 at	98 066.5	0.980665	$\equiv 1 \text{ kgf/cm}^2$	0.96784	735.56	14.223
1 atm	101 325	1.01325	1.0332	$\equiv 1 \text{ atm}$	760	14.696
1 torr	133.322	1.3332×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	1.3158×10^{-3}	$\equiv 1 \text{ mmHg}$	19.337×10^{-3}
1 psi	6 894.76	68.948×10^{-3}	70.307×10^{-3}	68.046×10^{-3}	51.715	$\equiv 1 \text{ lbf/in}^2$

Basınç ifadesi $P=F/S$ ile ifade edilir. Burada F kuvveti, S ise kuvvetin uygulandığı kesit alanı göstermektedir.

3.2.1. Basınç terminolojisi

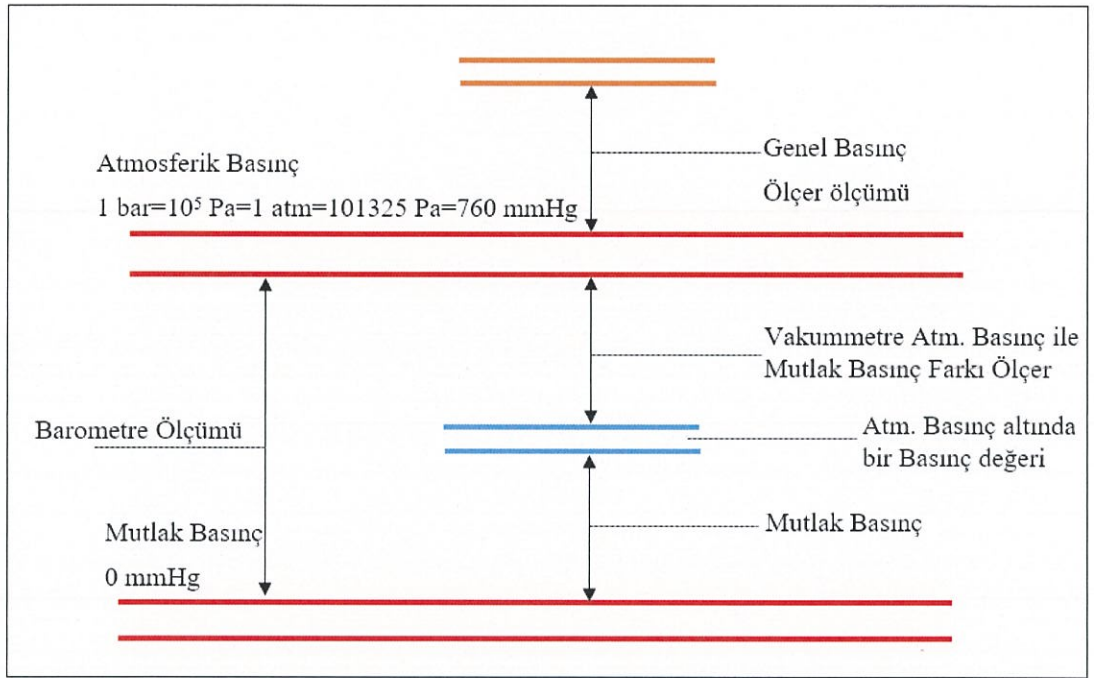
Atmosferik basınç: Dünyanın yerçekimi etkisiyle havanın yeryüzüne dik olarak uyguladığı kuvvetle oluşan basınca “atmosferik basınç” denir. Atmosferik basıncın birimi “Atmosfer (Atm)” dir. Atmosferik basınç, hava vasıtasıyla tüm yönlerde eşit şekilde iletilir. Yeryüzündeki havanın yoğunluğunda meydana gelen değişim atmosfer basıncının devamlı değişmesine neden olmaktadır.

Mutlak basınç: İçinde yaşadığımız atmosferdeki mevcut olan basınca atmosfer basıncı denir. Bu nedenle, atmosfere açık sistemlerdeki basınca atmosfer basıncının eklenmesiyle mutlak basınç elde edilir. Bir başka deyişle, mutlak basınç atmosfer basıncının gösterge (efektif) basıncına eklenmesiyle bulunur.

$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gösterge}} \quad (3.2)$$

Gösterge basıncı: Gösterge basıncı (efektif basınç, etkin basınç) ise atmosferik basıncı ihmal edip yani yaşadığımız çevrenin basıncını sıfır kabul ettiğimizde ortaya çıkan basınç değeridir.

$$P_{\text{gösterge}} = P_{\text{mutlak}} - P_{\text{atm}} \quad (3.3)$$



Şekil 3.6. Basınç terminolojisi

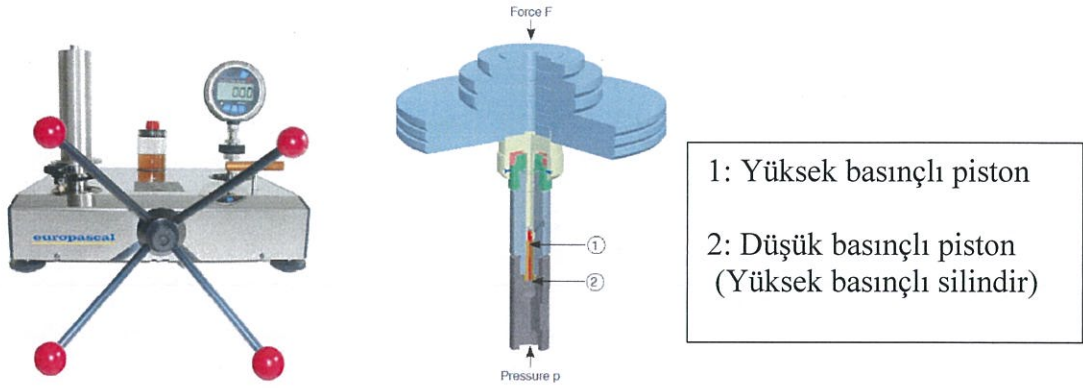
3.2.2. Basınç standartları

Primer (Birincil) basınç standartları

a) Sıvı Sütunlu Basınç Ölçerler: Sıvı sütunlu manometreler, laboratuvarlarda sürekli rejimde akışkan basınçlarının ölçülmesi için kullanılan en basit manometrelerdir. U tipi, eğik ve kuyu tipi manometreler, sıvı sütunlu manometrelere örnek olarak verilebilir. Bu tip manometrelerde, içlerine konulan sıvıların yüksekliklerinin ölçülmesi ile istenen basınç veya basınç farklılıkları elde edilebilir. Manometrelerde kullanılan sıvılar çok çeşitli olup, genellikle doğru ölçüm için cıvadan yararlanılmaktadır. Çeşitli basınç ölçümlerinde ve uçaklardaki atmosfer basıncının ölçülmesi için kullanılan altimetrelerin kalibrasyon işleminde sıvı sütunlu basınç ölçerlerden yararlanılır.

b) Pistonlu Basınç Ölçerler: Basınç dengeleri (genellikle mekanik ölü ağırlık testleri veya birincil standartlar) basınç için en doğru referans araçlarıdır. Bir piston-silindir sisteminin üstüne yerleştirilen kütleler, kuvveti temsil eder. Entegre edilmiş el pompası ile basınç dengesinde belli bir karşı basıncı üretmek suretiyle bir denge meydana gelir. Piston-silindir sisteminde denge durumundayken basınç, serbest çalışan piston ile birlikte sistem üzerindeki kütle parçalarının yüzdürülmesi sonucu denge durumundayken piston-silindir sisteminin serbest çalışan pistonu da dahil olmak üzere kütle parçalarının yüzdürülmesi sonucu test limanında doğru bir basınç oluşturulur. Bir ölü ağırlık test cihazı, bir alan (S) üzerine bir kuvvet uygulayarak (F) basınç ($P=F/S$) üretir (Anonim 2019d).

Bir ölü ağırlık testinde kuvvet, belirli bir enine kesit alanına sahip bir pistonun üstünde yerçekimsel bir alanda bir kütle tarafından sağlanır. Pistonun altındaki sıvı (pnömatik veya hidrolik) basınç altındadır, böylece piston ve kütle dengede “yüzer”. Akışkandaki basınç, kütlelerin pistonun enine kesit alanı üzerinde uyguladığı kuvvete eşittir.



Şekil 3.7. Pistonlu basınç ölçer

Piyasada daha çok hidrolik pistonlu ve pnömatik pistonlu basınç ölçerler kullanılmaktadır. Hidrolik pistonlu basınç ölçerler, çok yüksek basınçlarda kullanılabilir. Pnömatik pistonlu basınç ölçerler ise, atmosfer basıncı ile yüksek basınç aralıklarındaki düşük basınçlarda kullanılmaktadır.

Sekonder (ikincil) basınç standartları

Maddenin fiziksel özelliklerinden (Elastik defarmasyon, Piezzo elektrik, Piezzo direnç) yararlanarak basınç ölçümü gerçekleştiren cihazlara sekonder standartlar denir. Manometreler bu cihazlara örnek verilebilir. Manometreler, gaz veya sıvı akışkanların basınçlarını ölçmek için kullanılan aletlerdir. Manometreler içerisinde bulunan elastik elemanın (hava basıncına göre uzayıp kısılabilen boru) uygulanan basıncı harekete çevirmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Meydana gelen hareket neticesinde, manometre içindeki dişliler ve kollar yardımıyla, uygulanan basınç gösterge üstündeki ibreye aktarılır. Manometrede ölçülen basıncın değerindeki hassasiyet ve güvenilirlik, manometre içindeki elastik elemanın tipine bağlıdır. Çalışma sistemlerine göre üç çeşit manometre vardır.

- Bourdon tüplü manometreler: Bu tip manometreler sıvı veya gaz akışkan ortamlarında basınç ölçümü için kullanılırlar. Fakat Bourdon tüplü manometreler, yüksek viskoziten ortamlarda, kristalize olan ortamlarda veya bakır alaşımları ile reaksiyona giren akışkan ortamlarında kullanılmazlar.

- Diyaframlı manometreler: Diyaframlı manometreler, yüksek basınç pompa istasyonları, kok tesisleri, çamur pompalar, gaz boru hatları ve yol yapım makinalarında kullanılırlar.
- Fark basınç manometreleri: Fark basınç manometreleri ile iki çalışma basıncı arasındaki fark basıncı ölçülür. Bu ölçüm, bourdon tüplü manometreyle veya diyaframlı manometreyle gerçekleştirilir. Fark basınç manometreleri, darbe ve titreşim etkili olabilecek yerlerde basınç ölçümü yapılırken, sönümleyici akışkan (genellikle gliserinle) kullanılır (Anonim 2007b)

Skala ve gösterge tiplerine göre manometrelerin sınıflandırılması göre;

- Birleşik(Kombine) Manometreler: Ortam basıncının altındaki ve üstündeki basınçların ölçümünde kullanılabilir.
- Çift ibreli manometreler: İki basınç değeri arasındaki farkı ölçmek amacıyla kullanılırlar. Farklı basınç kaynağına bağlanmış birbirinden bağımsız iki elastik elemandan ve bu elastik elemanlara bağlı iki ibreden oluşmaktadır.
- Fark basıncı ölçen manometreler: İki farklı basınç kaynağına bağlanmış birbirinden bağımsız iki elastik eleman içeren ve iki basınç arasındaki farkı bir ibre ile gösteren manometrelerdir. Makinenin hava basıncını, sıvı tanklarda giriş ve çıkış basıncını ve gaz bağlantı basınçlarının ölçümünde kullanılmaktadır (Anonim 2015a).

3.3. Elektriksel Kalibrasyon

3.3.1. Genel Kavramlar

Gerilim: Bir üreticinin (Pil,jenaratör vb.) iki ucundaki (+) ve (-) potansiyel farktır. Potansiyel fark V ile gösterilir ve birimi Volt'tur. Gerilim iki kısımda incelenebilir:

- **Doğru Gerilim (DC V):** Şiddeti ve yönü zamana göre değişmeyen gerilimdir. DC adaptör çıkışı (şarj cihazı), akü ve pil, gerilimleri doğru gerilime örnek olarak verilebilir.
- **Alternatif Gerilim (AC V):** Şiddeti ve yönü zamana göre periyodik olarak değişen gerilimdir. Şebeke gerilimleri ve trafo çıkış gerilimleri alternatif gerilime örnek olarak verilebilir.

Akım: Bir iletkenen veya iletim hattından birim zamanda geçen elektrik yükü miktarıdır. Akım, I sembolü ile gösterilir ve birimi Amperdir. Gerilime benzer şekilde iki adet akım çeşidi vardır.

- Doğru Akım (DC A): Şiddeti ve yönü zamana göre değişmeyen akımdır. DC adaptör çıkışındaki akım, pil ve aküden çekilen akım doğru akıma örnek olarak verilebilir.
- Alternatif Akım (AC A): Şiddeti ve yönü zamana göre değişen akımdır. Elektrikli ısıtıcı ve lamba gibi şebeke gerilimine bağlı bir cihazın çektiği akım alternatif akıma örnek olarak verilebilir.

Direnç: İki ucu arasına gerilim uygulanan bir maddenin akıma karşı gösterdiği direnme özelliğidir. Direnç R ile gösterilir ve birimi Ω (ohm)' dur. Direnç, gerilim ve akım arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.4)$$

Kapasitans: Kapasitans (kondansatör), bir yalıtkan malzemenin iki metal tabaka arasına yerleştirilmesi ile oluşturulan, doğru akım (DC A) geçirmeyip, alternatif akım (AC A) geçiren elektronik devre elemanıdır. Birimi Farad (F)' dir. Bir elemandaki kapasite değeri (C) toplam yükün (Q)elektriksel gerilmeye bölünmesiyle bulunur.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3.5)$$

Endüktans: Doğru akımı (DC A) geçirip, alternatif akımı (AC A) geçirmeyen ve manyetik alan içindeki indiktörün enerji depolama kapasitesini gösteren bir elektronik devre elemanıdır. L ile gösterilir ve birimi Henry (H)' dir.

3.3.2. Dijital multimetre ve çalışma prensibi

En sık kullanılan test ve ölçüm enstrümantasyon parçalarından biridir. Multimetreler el tipi, masa tipi, modüler yapıda ya da bilgisayar kartı olarak tasarlanmış olabilir. Bir multimetre bir DC voltmetre, AC voltmetre, ampermetre ve ohmmetrenin birleşimidir.

Bu cihazlarda, DC gerilim, AC gerilim, DC akım, AC akım ve direnç gibi elektriksel büyüklükler doğrudan veya yardımcı teçhizatlarla ölçülebilirler. Buna ek olarak, bazı multimetreler kapasite, frekans ve sıcaklık ölçümleri de yapabilirler. Aslında, “multi” metrenin adını aldığı yer burasıdır. Birden çok şeyi ölçer (Yolaçan ve Güleç 2019).

Volt, standart bir potansiyel elektrik iletme birimidir. Bir volt bize ne kadar “elektrik üretimi” olduğunu söyler. Daha teknik terimlerle, bir amper içinden geçtiğinde bir ohm'un direncini ölçer. Gerilim ne kadar yüksek olursa, elektrik akışı o kadar güçlü olur. Elektronik devre sistemleri söz konusu olduğunda, çok düşük bir voltaj sisteme güç vermek için yeterli olmayabilir. Voltajın çok yüksek olması sistemin gücünü azaltabilir ve hatta devrenin kırılmasına neden olabilir. Bu durumda, devre erimiş olabilir veya alev alabilir.

Bir evde bulunan bir metalde şimşek vasıtasıyla yüksek gerilim oluşursa, evdeki elektrikte ani dalgalanma meydana gelir ve bu durumla başa çıkmak için evde bir devre bulunmazsa, fazladan elektriğin tamamı evdeki elektronik parçalara akarak zarar verir. Bu nedenle birçok evde ekstra elektrik akışını durduracak ve idare edecek “dalgalanma koruyucuları” bulunmaktadır. Devrelerle çalışmak söz konusu olduğunda, uzmanların uygun elektrik voltajının kullanıldığından emin olması çok önemlidir. Bu durumda voltajı test etmek için multimetre kullanılmaktadır. Multimetreler, voltajın çok yüksek veya çok düşük olduğu yerleri bulmakta yardımcı olur.

Dijital multimetre ekranı temelde dört bileşenden oluşur:

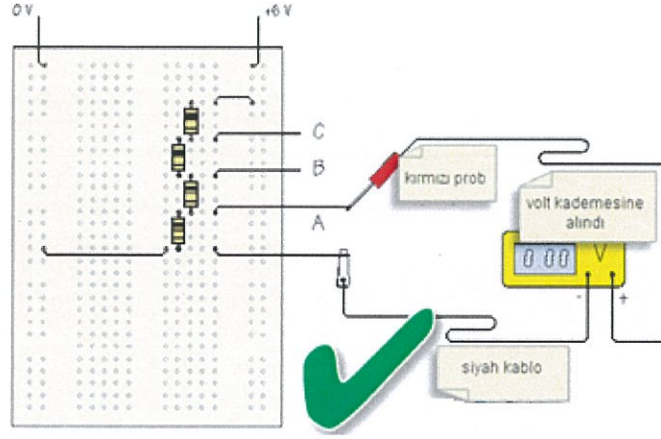
- Ekran: Ölçüm değerlerinin görüntülenebildiği ve gösterildiği kısımdır.
- Düğmeler: Çeşitli işlevleri seçmek ve çeşitli fonksiyonları seçmek için kullanılır. Farklı modellerde değişkenlik gösterir.
- Kadran (döner anahtar): Gerilim, akım ve direnç gibi birincil ölçüm değerlerini seçmek için kullanılır.
- Giriş jakları: Multimetrede test uçlarının takıldığı kısımdır.



Şekil 3.8. Dijital multimetre örneği

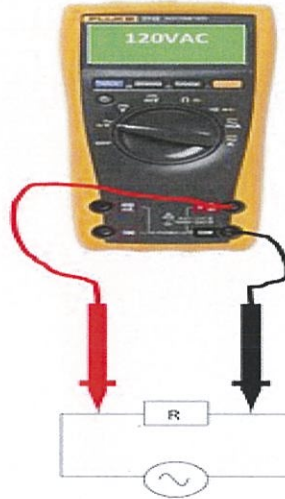
Multimetrede ölçüm yapılmadan önce ampermetre devreye seri bağlanır. Çünkü ampermetre düşük bir iç dirence sahip olduğundan paralel bağlanması durumunda devre zarar görecektir. Seri bağlanan ampermetre ile akım ölçmek için devre kesilerek araya ampermetre yerleştirilir. Ampermetrenin aksine voltmetre ise devreye seri bağlanmalıdır. Devre kesilmeden gerilimini ölçmek istediğimiz malzemeye voltmetre paralel bağlanarak ölçüm yapılır. Voltmetre yüksek iç dirence sahip olduğu için devreye seri bağlanmamalıdır. Çünkü bu durumda ölçüm gerçekleştirilemez. Gerilim ölçmek, akım ölçmekten daha kolaydır. Direnç ölçülmek istenirse ilk olarak direnci ölçülecek eleman devreden ayrılır. Eğer direnci ölçülecek eleman devreden ayrılmazsa devrede enerji biriken enerji varsa ohmmetre yüksek akımdan dolayı zarar görebilir. Bu durumda ölçü aletinde bulunan sigorta genellikle atar.

Multimetre ile gerilim ölçümü



Şekil 3.9. Gerilim ölçümü (Anonim 2009)

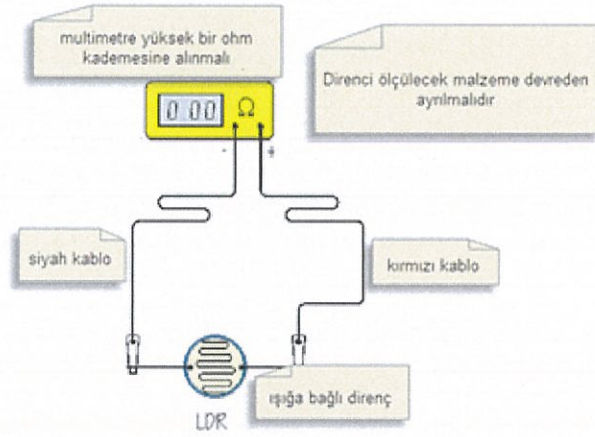
Yukarıda gösterilen şekilde dört adet direnç seri olarak devreye bağlanmıştır. Bu devrede gerilim değerlerini ölçmek için multimetre uygun olan volt kademesine ayarlanır. Kırmızı renkli prob V soketine takılır ve devrede enerji varken direnç uçlarına problar dokundurularak gerilim değerleri ölçülür. Gerilim ölçümü yapılmadan önce kaza ve yaralanma riski dikkate alınmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.



Şekil 3.10. Gerilim ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı (Anonim 2015b)

Ölçüm yaparken test kabloları yukarıda anlatıldığı gibi uygun girişlere takılı olmalıdır. Alternatif gerilim veya doğru gerilim seviyesinde ölçüm yapılırken, döner seçici anahtar ile AC (V~), DC (V—) veya mvolts (V—) seçeneklerinden biri seçilir. Daha sonra, siyah kablo COM girişine, kırmızı kablo voltaj ölçümü için V girişine takılır. Test kablosu uçları Şekil 3.10'daki gibi devreye paralel olarak bağlanır. Son olarak, multimetrenin göstergesinden değer okunur. Dijital ölçüm cihazlarında doğru gerilim ölçümünde (DC (V—)) test uçlarını doğru polariteye bağlamak oldukça önemlidir. Kırmızı test ucu devrenin (+) ucuna, siyah test ucu ise devrenin (-) tarafına bağlanmalıdır. Eğer ters bağlanırsa ölçüm değeri negatif polariteli olarak okunur. Analog ölçüm cihazlarında ise test uçlarının ters polariteli olarak bağlanması cihaza zarar verebilir.

Multimetre ile direnç ölçümü



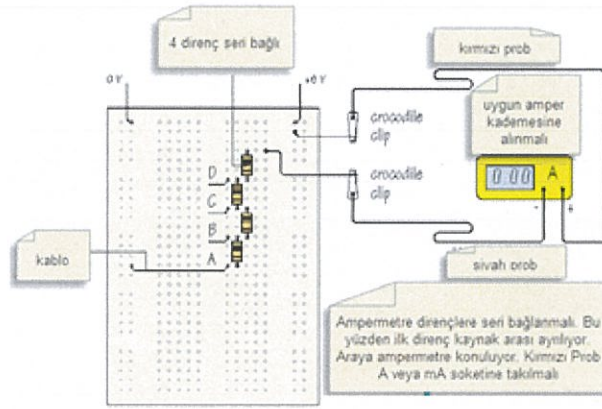
Şekil 3.11. Multimetre ile direnç ölçümü (Anonim 2009)

Yukarıdaki Şekil 3.11'de ışığa göre direnci değişen LDR (Işığa bağlı direnç)' nin direnci ölçülürken dijital multimetre devreye şekilde gösterildiği gibi bağlanmalıdır. İlk olarak, LDR devresinin enerjisi kapatılmalıdır. Çünkü direnç ölçümlerinde test edilen devrede enerji olmamalıdır. Multimetredeki döner seçici anahtar Ω direnç fonksiyonunun üstüne getirilmelidir. Daha sonra, siyah kablo COM girişine, kırmızı kablo direnç ölçümü için Ohm ve diyot işareti olan girişe takılır. Son olarak, dijital multimetre göstergesinden direnç değerleri okunur.



Şekil 3.12. Direnç ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı (Anonim 2015b)

Multimetre ile akım ölçümü



Şekil 3.13. Multimetre ile akım ölçümü (Anonim 2009)

Yukarıdaki Şekil 3.13'te akım ölçülürken dijital multimetre devreye şekilde gösterildiği gibi seri bağlanmalıdır. İlk olarak, test yapılan devrenin enerjisi kesilmelidir. Hangi akım değeri ölçülecekse, alternatif akım (AC (A~)) veya doğru akım (DC (A—)) seçilir. Daha sonra siyah kablo COM girişine, kırmızı kablo ise Amper girişine bağlanır. Devreye enerji verilerek ölçülen akım değeri multimetrede kaydedilir.

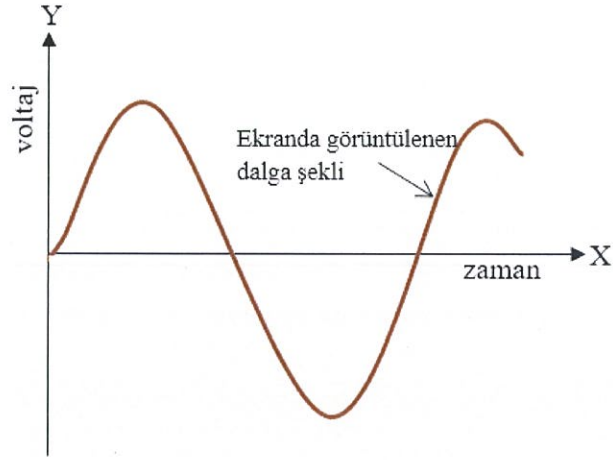


Şekil 3.14. Akım ölçümünde multimetre prob uç bağlantısı (Anonim 2015b)

3.3.3. Osiloskop ve çalışma prensibi

Osiloskop, elektronik sinyallerin dalga formunu görüntülemek ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir laboratuvar cihazıdır. Anlık sinyal, voltajın zamanın fonksiyonu olarak iki eksenli bir grafik olarak gösterilir. Osiloskop, dalga formlarının görülmesini sağlayarak elektronik devrede meydana gelen herhangi bir problemi görmeyi çok daha kolaylaştırır. Dalga biçimi daha sonra genlik, frekans, yükselme süresi, zaman aralığı, bozulma gibi özellikler için analiz edilebilir.

Bir osiloskopun işlevi, dalga formlarını bir tür ekran üzerinde gösterebilmektir. Normal çalışma modunda X-ekseni boyunca (yatay eksen) süre gösterilir ve osiloskop ekranında oluşan görüntünün Y-ekseni (dikey eksen) sinyalin genliğini gösterir. Bu şekilde, bir osiloskop üzerinde elektronik bir dalga formu görmek mümkündür (Şekil 3.15). Bir dalga şeklini görerek, devrenin çalışmasını analiz etmek mümkündür.



Şekil 3.15. Basit osiloskop ekranı

Dijital ve analog olarak osiloskoplar iki çeşite ayrılabilir. Günümüzde pek fazla tercih edilmeyen analog osiloskoplar, tıpkı eski tüplü televizyonlar gibi çalışırlar. Analog osiloskoplar, gelen sinyali (giriş sinyali), katot ışın tüpünde oluşturulan elektron demetini saptırmak için kullanılan dikey ve yatay saptrıcı bobinlere iletir ve bunun sonucunda ekranda görüntü oluşturulur. Bu cihazlar bilinen en eski tipteki osiloskopları oluşturur. Dijital osiloskoplar ise, yüksek hızlı ve çözünürlüklü mikroişlemciler sayesinde giriş sinyalini bir mikro-kontrolcü ile ekranda gösterir. Dijital osiloskopların en büyük avantajı sinyalin istenilen zamanda durdurulmasına ve tekrar oluşturulabilmesine, istenilen seviyede tetiklenmesine ve kaydedilmesine olanak tanımasıdır. Dijital osiloskoplar, otomatik ölçüm, frekans analizi ve FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü), görüntü hafızası gibi kullanışlı özelliklere sahiptirler.



Şekil 3.16. Örnek bir osiloskop

Osiloskop görüntü ve tuş grubu

Cal (Kalibrasyon): Osiloskopta frekans ve genlik belirtilir. Osiloskoptaki test etmek istediğimiz kanala prob yardımıyla uygulanır.

Güç (Power): Osiloskop cihazının aç/kapa düğmesidir.

Parlaklık(Intensity) : Osiloskop ekranındaki çizginin parlaklığı ayarlanır.

Odaklanma(Focus): Osiloskop ekranında meydana gelen benek ve çizgilerin uygun netlikte olmasını sağlar.

Yatay eğim (Trace rotation): Osiloskop ekranındaki çizginin yatay eksenle olan açısını ayarlar.

Aydınlatma (Illum): Ekranın aydınlatılması ayarlanır.

Osiloskop Ekranı: Dalga formunu görüntülemek için kullanılan büyük ekrandır.

Konnektör: Osiloskop üzerinde çeşitli farklı konnektörler bulunur. Görüntülenecek kanalların her biri için bir giriş vardır bu nedenle birden fazla kanala sahiptir. Birden fazla kanallı olması dalga formlarının karşılaştırılmasına izin vererek aynı anda iki sinyalin görüntülenmesini sağlar ve sinyale göre tetikleme sağlayacak girişler içerir.

Prob: İncelenecek sinyalin osiloskop cihazına aktarılması amacıyla kullanılan kablodur. Bir ucu osiloskoba bağlanır diğer ucu devrede incelenecek sinyalin bulunduğu kısma bağlanır. Genellikle krokodil konnektörü şeklinde toprak bağlantısı içerir. Osiloskop problemleri x1 ve x10 olacak şekilde ayarlanabilirler. x1, izlenen sinyali bozmadan ve değiştirmeden osiloskoba ulaştırır. x10 ise izlenen sinyali onda bir zayıflatarak osiloskoba ulaştırır. Bu durumda, sinyalin gerçek genlik değeri ekranda görünen değerinin on katı olur (Yolaçan ve Güleç 2019).

Temel osiloskop kontrolleri

Dikey kazanç / sinyal girişi hassasiyeti (Vertical gain): Osiloskop üzerindeki bu kontrol, dikey eksenindeki sinyalin boyutunu kontrol eden amplifikatörün kazancını değiştirir.

Genellikle santimetre başına belirli bir volt (Volt/cm) cinsinden kalibre edilir. Yani ölçek üzerindeki her dikey bölüm belirli bir volt sayısını temsil eder. Bu nedenle dikey kazanç anahtarını ayarlayarak santimetre başına daha az sayıda volt seçilecek, daha sonra dikey kazanç artacak ve ekrandaki görünür dalga biçiminin genliği artacaktır.

Dikey konum (Vertical position): Osiloskop üzerindeki bu kontrol, sinyal olmadığında iz konumunu yönetir. Uygun bir çizgiye ayarlanarak, "sıfır" pozisyonunun üstünde ve altında ölçümler kolayca ölçülebilir. Ayrıca yatay pozisyonu ayarlayan eşdeğer bir yatay pozisyon kontrolüne sahiptir.

Timebase: Timebase kontrolü, ekranın taranma hızını ayarlar. Ekrandaki her santimetre kalibrasyonu için belirli bir süre açısından kalibre edilir. Bundan bir dalga formunun süresi hesaplanabilir. Bir dalga formunun tam bir döngüsünü tamamlamak için en fazla süre 10 mikrosaniye ise, bu, periyodunun 10 mikrosaniye olduğu ve frekansın, zaman periyodunun tersi olduğu, yani $1/10$ mikrosaniye = 100 kHz olduğu anlamına gelir.

Tetik (Trigger): Osiloskop üzerindeki tetik kontrolü, dalga formunda taramanın başlayacağı noktayı belirler. Analog osiloskoplarda, yalnızca dalga formu tarafından belirli bir voltaj seviyesine ulaşıldığında tarama başlar. Bu, dalga formundaki taramanın her döngüde aynı anda başlamasını ve sabit bir dalga formunun görüntülenmesini sağlar. Tetikleme voltajını değiştirerek, dalga formunda farklı bir noktadan başlamak üzere tarama yapılabilir. Osiloskobun dalga formunun pozitif mi yoksa negatif bir kısmının mı tetikleneceğini seçmek de mümkündür. Bu, (+) ve (-) işaretleri ile işaretlenmiş ayrı bir anahtarla sağlanabilir.

Tetikleme bekletme (Trigger hold-off): Tetik işleviyle ilişkili başka bir önemli denetimdir. "Bekletme" işlevi olarak bilinen, önceki taramanın tamamlanmasından hemen sonra tetiklenmesini önlemek için tetikleyiciye bir gecikme ekler. Bu fonksiyon bazen gereklidir, çünkü osiloskobun tetikleyebileceği bir dalga formunda birkaç nokta vardır. Bekletme işlevini ayarlayarak kararlı bir ekran elde edilebilir.

Işın bulma (Beam finder): Bazı osiloskoplar ışın bulma işlevine sahiptir. Bu özellik, izin görünmemesini sağladığı için oldukça faydalı olabilir. Işın bulucu düğmesine basılması, ışının ekranın ortasında olacak şekilde bulunmasını ve ayarlanmasını sağlar.

3.3.4. Ampermetre ve çalışma prensibi

Ampermetre bir devredeki akımı ölçmek için kullanılan bir ölçüm cihazıdır. Elektrik akımları amper (A) cinsinden ölçülür, daha küçük akım değerleri miliamper veya mikroamper birim cinsinden ölçülmektedir. Düşük şiddetteki elektrik akımını ölçen alet galvanometre olarak adlandırılır. Ampermetrenin Analog ve dijital olmak üzere iki farklı modeli vardır. Dijital ampermetreler daha hassas ölçüm kabiliyetine sahiptirler.

Bobin: İçinden elektrik akımı geçen yalıtkan bir tel ve bu tele sarılı silindirden meydana gelen ağıya bobin denir.

Akım şiddeti: Birim zamanda iletkenin geçen elektron sayısı akım şiddeti olarak tanımlanır. İletkendeki belli bir kesitten geçen elektron sayısı arttıkça, akım şiddeti de elektron sayısına bağlı olarak artar.

Ampermetre kadranı üzerinde “-“, “~” ve “-/~” gibi işaretler bulunur. “-” işareti doğru akımda ölçüm yapıldığını, “~” işareti alternatif akımda ölçüm yapıldığını, “-/~” işareti ise hem doğru akım hem de alternatif akımda ölçüm yapıldığını gösterir. Doğru akım (DA) ölçen, alternatif akım (AA) ölçen ve hem DA hem de AA ölçen ampermetreler bulunmaktadır (Anonim 2019e).

Ampermetre seçimi yapılırken aşağıdaki hususlara kesinlikle dikkat edilmelidir:

- Akım çeşidine uygun (DA veya AA) ampermetre seçilmelidir.
- Ampermetrenin akım ölçme sınırı, ölçülecek akım değerinden kesinlikle büyük olmalıdır.
- Ampermetrenin hassasiyeti mutlaka dikkate alınmalıdır.
- DA ölçüm alınacaksa ampermetrenin uçları doğru bağlanmalıdır (Anonim 2015c)

Ampermetreler en zayıf elektrik akımının iletken tel sarılı bir bobini, bir mıknatısa dönüştürme prensibine göre çalışırlar. Ampermetre üzerinden akım geçtiğinde, geçen akım şiddeti ile orantılı bir manyetik alan oluşur. Bunun sonucunda, bobin akım şiddetine bağlı olarak döner. Akım şiddetinin büyüklüğü ile orantılı olarak bobinin dönme açısı da değişir. Akım şiddeti ne kadar büyük olursa, bobinin dönme açısı da o kadar büyük olmaktadır. Bobin üzerine gelen akım kesilip, spiral yay vasıtasıyla bobin ilk konumuna geldiğinde bobin üzerindeki göstergeden ölçülen akım şiddeti okunur (Anonim 2015c).

Ampermetrenin bağlanma şekli

Ampermetrelerin iç direnci çok düşüktür. Bu nedenle devreye seri olarak bağlanırlar. Alıcıdan geçen akımın şiddetinin ölçülebilmesi ancak alıcıya ait akımın hepsinin ampermetrenin içinden geçmesiyle mümkün olmaktadır. Ampermetrelerin devreye paralel bağlanmaları kısa devreye sebep olur ve ampermetreler kullanılamaz hale gelebilirler. Doğru akımda ampermetre ile ölçüm alınırken (+) prob ucu devrenin yüksek potansiyelli tarafına, (-) prob ucu ise düşük potansiyelli tarafına bağlanır.

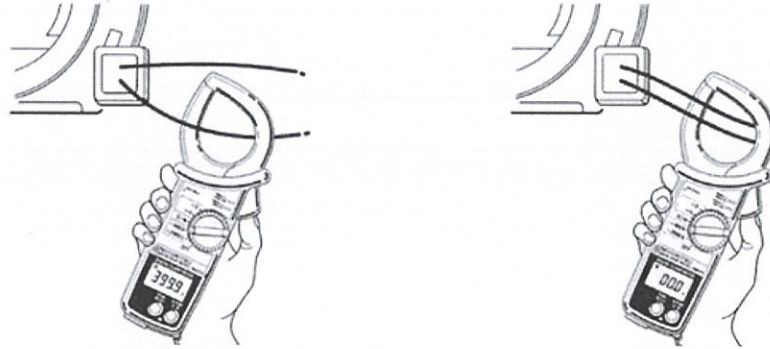
Ölçüm yapılan cihazlar, ölçme işlemi yapılan devrelerin özelliklerini değiştirmemelidir. Ampermetre ile elektrik devresinden geçen akımın ölçülebilmesi için ampermetre ile alıcı birbirine arka arkaya bağlanır. Devreye seri olarak bağlanan ampermetrelerin ölçüm yaptıkları devrede yük akımı gibi sınırlandırıcı etki yapmamaları istenir. Bu nedenle, ampermetrelerin direnci iç dirençleri çok küçük olur ($0-1\Omega$). Ampermetrelerde ölçülen akım I sembolü ile gösterilir (Anonim 2015c).

Pens Ampermetre ve akım ölçümü

Bir ampermetre çeşidi olan ve devre hattını kesmeden, bir devrenin (motor, havai hat vb.) akımını ölçmek için kullanılan ölçüm cihazına pens ampermetre denir. Pens ampermetrelerle, manyetik alan etkisiyle ve prob kullanılmadan ölçüm yapılabilir ve akımdan başka voltaj, direnç ve kapasite ölçümleri de yapılabilir. Dijital bir multimetre ile akım sensörünün birleştirilmiş hali olan pens ampermetre oldukça kullanışlı bir elektriksel test cihazıdır (Anonim 2015c).

Pens ampermetreler analog ve dijital olmak üzere iki çeşittir. Pens ampermetreler açılır kapanır bir çene, çenenin açılıp kapanmasını sağlayan bir klips, çene etrafında bobinler ve dijital modellerinde el olarak lcd ekran düzeneğinden meydana gelir. Buna ek olarak, farklı ölçüm kademelerinde sonuç almak için seçici komütatör de içerirler. Bu kelepçeler bağımsız olarak bakır bobinlerle sarılır. İkisi birlikte, gerçekte ölçümleri yapan manyetik bir çekirdek oluşturur. Elektromanyetik ilke, “iletken bir malzemeden bir akım geçtiğinde, manyetik akı oluşumuna neden olduğunu” söyler. Temel operasyonları bir

transformatör gibidir. Neredeyse her durumda ölçülen iletken olan bir primer dönüş veya sargıyla çalışır. Çenelerin etrafındaki bobinler, akım trafosunun sekonder sargısı olarak işlev görür. İletken boyunca akan akım, etrafında dönen alternatif bir manyetik alan oluşturur. Bu alan kelepçenin demir çekirdeği tarafından yoğunlaştırılarak metredeki ikincil sargılarda bir akım akışı meydana gelir. Bir elektrik devresinden geçen akımı ölçmek için pens ampermetreler devreye kablolar yardımıyla seri şekilde bağlanır. Eğer ölçüm yapılacak devreye önceden ampermetre bağlanmamış ise devredeki enerji kesilir ve bağlantıdan sonra devreye tekrar enerji verilerek ölçüm gerçekleştirilir. Bu durum ölçüm yapılan devredeki aksaklığı önlemek için gereklidir. Ölçüm yapılırken ilk önce pens ampermetrenin kademesi yüksek bölmeye alınır. Klipse basılarak, çenelerin açılması sağlanır. Daha sonra alıcıya bağlanan ve içinden akım geçen iletken kablo çenelerin içerisine alınır ve klips bırakılarak çeneler kapatılır. Pens ampermetre ekranından ölçülen akım değeri okunur. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, akım taşıyan bir kablolardan bir tanesinin pensin içine alınması gerektiğidir. Çünkü iki kablo da çene içine koyulursa iki kablodaki akım yönleri birbirine zıt olacaktır ve pens ampermetre de akımın değeri sıfır olarak okunacaktır (Şekil 3.17).



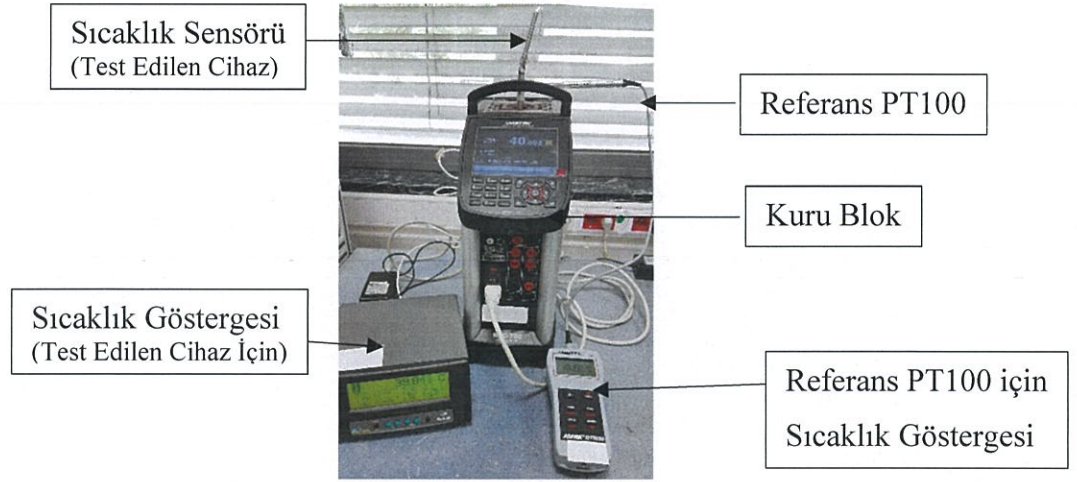
Şekil 3.17. Pens ampermetre ile akım ölçümü (Anonim 2015c)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sıcaklık Kalibrasyonu Sonuçları

4.1.1. Kuru blok kaynağı kullanılarak direnç termometre kalibrasyonu

Kuru blok kaynağı; ölçüm aralığı 30-700 ° C olan sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonu için kullanılır. Referans PT 100 ile test sıcaklık ölçeri karşılaştırma metoduna göre kalibre edilir. Referans ve test edilen sıcaklık sensörleri kuru blok kalibratörü içerisine daldırılır. Daldırılan sensörlerin uç noktaları aynı derinliğe indirilmiş olmalıdır.



Şekil 4.1. Kuru blok kaynağı



Şekil 4.2. Kuru blok kaynak ekranı

Kuru blok ekranındaki “Set Temperature” kısmından istenilen ölçüm noktaları girilerek kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Referanstan (PT100) okunan direnç veya milivolt değerleri ITS 90 sıcaklık skalası, IEC 751 ve IEC 584 standartlarına göre değerlendirilir.

Kalibre edilen kontrol aletinin modeli PT100 Burster-42441’dir. Kontrol aletinin tolerans değerleri DIN EN 60751 normuna göre aşağıdaki tablo referans alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. PT100 sınıf ve tolerans bilgisi

Sınıf	Tolerans (°C)
AA	0,10 + 0,0017 . t
A	0,15 + 0,002 . t
B	0,30 + 0,005 . t
C	0,60 + 0,01 . t

Bu tez çalışmasında kullanılan PT100 Burster-42441 kontrol aletinin sıcaklık ölçüm aralığı -50 °C ... 400 °C ‘dır. Kullanılan kontrol aleti 120 °C ... 400 °C sıcaklık aralığında A sınıfı tolerans bilgileri kullanılabilir. Kontrol aleti teknik bilgilerine göre 0 °C ... 120 °C sıcaklık aralığında ise B sınıf tolerans bilgileri kullanılabilir. PT100 cihazında, cihaz kataloğundaki verilere dayanarak, 0 °C ... 120 °C sıcaklık aralığında B sınıfın tolerans bilgilerinin 1/5’i hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. PT100 sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları

Ölçüm No	Ölçüm Sıcaklığı (T °C)	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
1	30 °C	31,85	29,955	29,984	30,029	x
2	40 °C	41,81	39,950	40,006	40,056	x
3	50 °C	49,99	49,945	50,007	50,062	✓
4	90 °C	89,97	89,925	90,028	90,103	✓
5	100 °C	99,98	99,920	100,004	100,084	✓
6	200 °C	202,08	199,450	200,087	200,637	x
7	300 °C	301,11	299,250	300,079	300,829	x
8	400 °C	401,1	399,050	399,986	400,936	x

Çizelge 4.2’de PT100 Sıcaklık sensörü ile farklı sıcaklıklar için cihazın kalibrasyonun değerlendirilmeye çalışılmıştır. 30°C...100°C sıcaklık aralıklarında yapılan ölçümlerde A sınıfı tolerans formülleri kullanılırken, 200°C ...400°C aralığındaki ölçümler için B sınıfı tolerans formüllerininin 1/5 i kullanılmıştır. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları ile referans olarak kullanılan cihazın ölçüm sonuçları verilen sınıflardaki referans formüllerine göre karşılaştırılmaktadır. Eğer kalibre edilen cihazda yapılan ölçüm sonuçları alt ve üst ölçüm noktası değerlerinin içinde ise ($AÖN(^{\circ}C) \leq \text{Ölçüm sonucu} \leq \text{ÜÖN(^{\circ}C)}$) kalibrasyon sonuçları iyi, dışında ise kalibrasyon sonuçları kötü olarak değerlendirilir. 50°C, 90°C ve 100°C ‘lerde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içi, diğer sıcaklık ölçüm noktalarında ise kalibrasyon sonuçlarının hesaplanan toleransların dışında olduğu görülmektedir. Alt ölçüm noktası ($AÖN(^{\circ}C)$) ve üst ölçüm noktası ($ÜÖN(^{\circ}C)$) sonuçları aşağıdaki formüle göre bulunabilir:

$$AÖN(^{\circ}C), ÜÖN(^{\circ}C) = RÖS(^{\circ}C) \pm Tol(^{\circ}C) \quad (4.1)$$

Burada, $RÖS(^{\circ}C)$ referans cihazın ölçüm sonucunu, $Tol(^{\circ}C)$ ise tolerans sıcaklık değerini göstermektedir.

PT100 belirsizlik hesabı

Ölçüm sonuçları tahmini bir değer verdikleri için ölçüme ait belirsizlik ifadeleri de mutlaka verilmelidir. Ölçülen büyüklükte meydana gelen birleşik standart belirsizlikler, ayrı ayrı standart belirsizliklerin etkisi dikkate alınarak hesaplanır (Denklem (2.2)). Örneğin, PT100 birleşik belirsizlik hesabında, cihazın çözünürlüğünden gelen belirsizlik ($u_{\text{çözünürlük}}$), referans cihazdan gelen belirsizlik (u_{cihaz}) ve tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ($u_{\text{tekrarlı}}$) değerleri etkilidir. Bunun yanında kullanıcı etkisinden, çevre şartlarından, sistem şartlarından gelen belirsizlik etkileri birleşik belirsizlik hesabına dahil edilmemiştir. Buna göre PT100 e ait birleştirilmiş belirsizlik ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$u_c = \sqrt{u_{\text{çözünürlük}}^2 + u_{\text{cihaz}}^2 + u_{\text{tekrarlı}}^2} \quad (4.2)$$

Örneğin, 30 °C deki ölçüm belirsizliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$u_{\text{çözünürlük}} = \frac{\text{Cihaz çözünürlüğü}}{2\sqrt{3}} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde, PT100 cihazının çözünürlüğü 0,01°C dir. Böylece $u_{\text{çözünürlük}} = 2,89 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunur. $u_{\text{çözünürlük}}$ ifadesi B tipi- Dikdörtgen Dağılım belirsizlik türüne göre hesaplanmıştır.

u_{cihaz} dan gelen genişletilmiş belirsizlik ise cihazın sertifika değerinden bulunur ve değeri $u_{\text{genişletilmiş}}=0,02^{\circ}\text{C}$ dir. B tipi normal dağılım türüne göre, cihaz belirsizliği $u_{\text{cihaz}}=u_{\text{genişletilmiş}}/k$ olarak bulunur. Burada genişletme faktörü $k=2$ olarak alındığında $u_{\text{cihaz}}=0,01^{\circ}\text{C}$ ye eşit olur. Tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ($u_{\text{tekrarlı}}$) A tipi belirsizlik türüne göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u_{\text{tekrarlı}} = \frac{s_{x_i}}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

Burada deneysel standart sapma değeri s_{x_i} :

$$s_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (4.5)$$

eşittir. Burada $n=3$ adet ölçüm sonucu aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. PT100 sıcaklık tekrarlı ölçüm sonuçları

No	Tekrarlı Ölçüm Sonucu
1	29,95 °C
2	30,03 °C
3	29,95 °C

Yukarıdaki Çizelge 4.3'e göre aritmetik ortalama, $\bar{x} = 29,9767^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanır. Yapılan ölçüm değerleri Denklem (4.5)' te yerine yazılırsa deneysel standart sapma aşağıdaki şekilde bulunur.

$$s_{x_i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(29,9767 - 29,95)^2 + (29,9767 - 30,03)^2 + (29,9767 - 29,95)^2} = 0,046^{\circ}\text{C}$$

Böylece tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik $u_{\text{tekrarlı}} = \frac{0,046}{\sqrt{3}} = 0,0267$ olarak hesaplanır.

Son olarak, PT100 için birleşik belirsizlik (u_c) aşağıdaki gibi bulunur.

$$u_c = \sqrt{0,00289^2 + 0,01^2 + 0,0267^2} = 0,0287^{\circ}\text{C}$$

Genişletilmiş belirsizlik değeri, standart belirsizliğin normal dağılım için yaklaşık %95 güvenilirlik seviyesini sağlayan $k=2$ kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur.

Genişletilmiş belirsizlik = $0,0287 * 2 = 0,057^{\circ}\text{C}$.

Diğer sıcaklık değerleri için de ölçüm belirsizlikleri aynı yöntemle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Yapılan ölçümlerin genişletilmiş belirsizlik değerleri incelendikleri zaman, öngörülen belirsizlik değerlerinin içinde kaldıkları görülmektedir. Dolayısıyla, yapılan sıcaklık ölçüm değerleri A tipi ve B tipi belirsizlik değerlerini kapsamaktadır denilebilir.

Çizelge 4.4. PT100 belirsizlik hesap tablosu

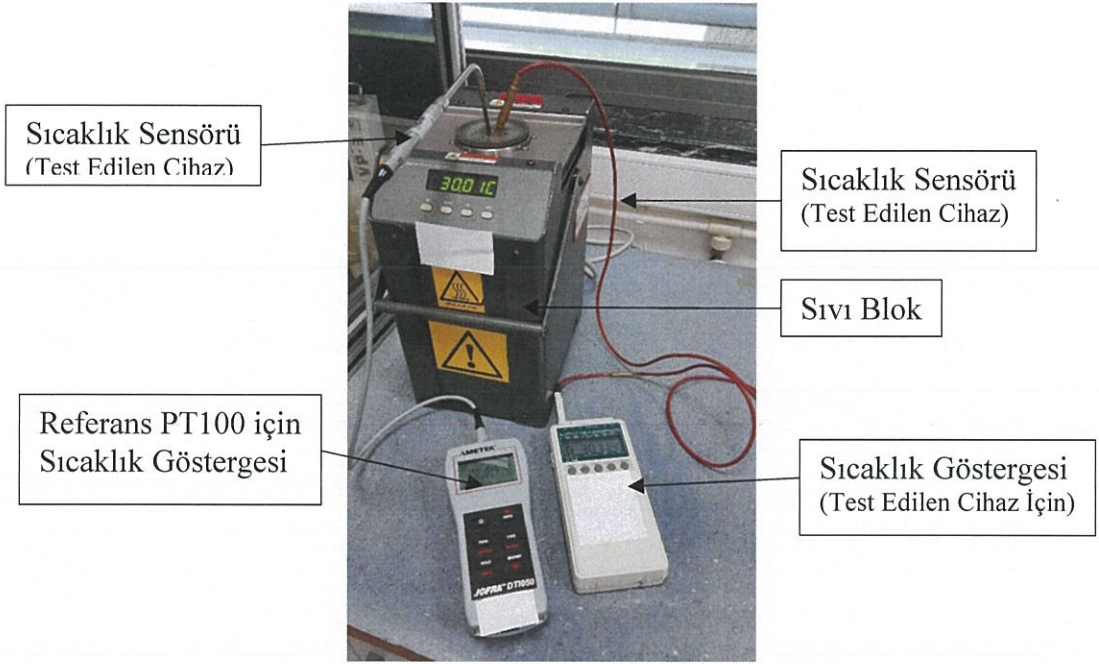
Ölçüm Noktası	Belirsizlik Kaynağı	Değeri	Birim	Dağılım Fonksiyonu	Bölen	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Standart Belirsizlik
30 °C	Uçözünürlük	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	Ucihaz	0,02	°C	Normal	2			0,01
	Utekrarlı	29,95	°C	Normal	1	29,9767	0.046	0,0267
		30,03	°C					
		29,95	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0287
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,057	
40 °C	Uçözünürlük	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	Ucihaz	0,02	°C	Normal	2			0,01
	Utekrarlı	39,96	°C	Normal	1	39,9767	0,015	0,00882
		39,98	°C					
		39,99	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0136
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,027	
50 °C	Uçözünürlük	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	Ucihaz	0,02	°C	Normal	2			0,01
	Utekrarlı	49,94	°C	Normal	1	49,9567	0,015	0,00882
		49,97	°C					
		49,96	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0136
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,027	
90 °C	Uçözünürlük	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	Ucihaz	0,02	°C	Normal	2			0,01
	Utekrarlı	89,99	°C	Normal	1	89,9833	0,012	0,00667
		89,99	°C					
		89,97	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0124
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,025	

Çizelge 4.4. PT100 belirsizlik hesap tablosu (Devam)

100 °C	U _{çözünürlük}	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	U _{cihaz}	0,02	°C	Normal	2			0,01
	U _{tekrarlı}	99,96	°C	Normal	1	100,0000	0,035	0,02
		100,02	°C					
		100,02	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0225
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,045	
200 °C	U _{çözünürlük}	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	U _{cihaz}	0,02	°C	Normal	2			0,01
	U _{tekrarlı}	199,86	°C	Normal	1	199,8967	0,120	0,0689
		199,8	°C					
		200,03	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0697
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,139	
300 °C	U _{çözünürlük}	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	U _{cihaz}	0,02	°C	Normal	2			0,01
	U _{tekrarlı}	299,95	°C	Normal	1	299,9200	0,026	0,0153
		299,91	°C					
		299,9	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,0185
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,037	
400 °C	U _{çözünürlük}	0,01	°C	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	U _{cihaz}	0,02	°C	Normal	2			0,01
	U _{tekrarlı}	390,1	°C	Normal	1	389,8330	0,250	0,145
		389,6	°C					
		389,8	°C					
	Birleşik Belirsizlik		°C	Normal				0,1454
Genişletilmiş Belirsizlik		°C	Normal				0,291	

4.1.2. Sıvı blok kaynağı kullanılarak direnç termometre kalibrasyonu

Sıvı blok; ölçüm aralığı 0° C -100 ° C olan sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonu için kullanılır. Referans PT 100 ile test sıcaklık ölçeri karşılaştırma metoduna göre kalibre edilir. Referans ve test edilen sıcaklık sensörleri sıvı blok kalibratörü içerisine daldırılır. Blok içerisinde sıvı olarak su kullanılır. Daldırılan sensörlerin uç noktaları aynı derinliğe indirilmiş olmalıdır.



Şekil 4.3. Sıvı blok

Çizelge 4.5. PT100 sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları

Ölçüm No	Ölçüm Planı	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
1	10 °C	10,01	9,95	10	10,05	✓
2	20 °C	20,03	19,95	20	20,05	✓
3	40 °C	40,01	39,95	40	40,05	✓
4	60 °C	60	59,95	60	60,05	✓
5	80 °C	79,99	79,95	80	80,05	✓
6	100 °C	100,04	99,95	100	100,05	✓

Çizelge 4.5’ de sıvı bloğu kaynağı kullanılarak PT100 Sıcaklık sensörü ile farklı sıcaklıklar için cihazın kalibrasyonu değerlendirilmiştir. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları ile referans olarak kullanılan cihazın ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Tüm sıcaklık değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu görülmektedir. Burada, tüm sıcaklık değerleri için tolerans değerleri $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır.

4.1.3. Kızılötesi (Infrared) termometre kalibrasyonu

Infrared termometre kalibrasyonu için referans olarak Fluke 4181 infrared ısıtıcı kullanılmıştır. Infrared termometre ve infrared ısıtıcı ile ölçüme başlamadan önce yaklaşık 30 dakika cihazların çalışır durumda olması gerekmektedir. Infrared ısıtıcı öncelikle 50°C ‘ye ayarlanır. Infrared Termometre 0,95 emisivite değerine ayarlanır. Infrared ısıtıcı ile termometre arası 30 cm olmalıdır. Infrared ısıtıcı set değeri olan 50°C ’ye ulaştığında cihazdan ses gelir. Ses duyulduktan sonra ölçüme başlanılabilir demektir. Infrared termometre, referans cihazın merkezine gelecek şekilde tutularak değerler okunur.



Şekil 4.4. Infrared termometre kalibrasyonu

Çizelge 4.6. Infrared sıcaklık sensörü kalibrasyon sonuçları

Ölçüm No	Ölçüm Planı	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
1	50 °C	49,4	49,088	50,09	51,092	✓
2	100 °C	98,9	98,078	100,08	102,082	✓
3	150 °C	148,7	147,049	153,05	150,051	✓
4	200 °C	197,8	196,088	200,09	204,092	✓
5	250 °C	246,7	245,059	250,06	255,061	✓

Çizelge 4.6’ da Infrared termometre kalibrasyonu için referans olarak Fluke 4181 infrared ısıtıcı ile farklı sıcaklık noktalarında infrared termometre cihazının kalibrasyonu incelenmiştir. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları ile referans olarak kullanılan cihazın ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Tüm sıcaklık değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu görülmektedir. Burada, sıcaklık değerleri için tolerans değerleri cihaz teknik özelliği referans alınarak %2 olarak alınmıştır.

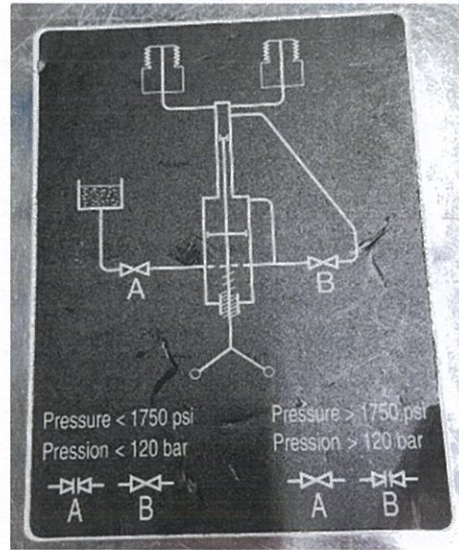
4.2. Basınç Kalibrasyon Sonuçları

4.2.1. Karşılaştırma metodu kullanarak ölü ağırlık ile makine basınç kalibrasyonu

Ölü ağırlık test cihazı temel olarak basıncı ölçmek ve basınç üretmek için kullanılan bir cihazdır. Basınç sensörlerini kalibre etmek için kullanılır. Basınç sensörünü kalibre etmek için aşağıdaki prosedür uygulanır. Öncelikle piston kolu sağ yönde çevrilir, pistonun ileri doğru gitmesi sağlanarak sistemin havası alınır. Cihaz sisteminin içinde birikmiş olan havanın alınma nedeni stabil ölçüm sonucu alabilmektir. Piston kolu tersi yönde çevrilerek cihaz içerisine yağ dolması sağlanır. Cihaz için özel bir yağ kullanılmaktadır. Cihaz modellerine göre yağın cinsi değişmektedir.



Şekil 4.5. Ölü ağırlık test cihazı



Şekil 4.6. Ölü ağırlık test cihaz örneğinin şeması

Daha sonra, bilinen bir ağırlık platform üzerine yerleştirilir. Piston kolu çevirilerek platform üzerindeki belirli ağırlığı kaldırmak için yeterli kuvvet oluşturuluncaya kadar pistonun diğer tarafına sıvı basıncı uygulanır.

Akışkanın basınç kuvveti, ağırlıkların artı kriko sürtünme kuvvetine karşı geldiğinde cihaz denge durumuna gelir. Böylece platform üzerine yerleştirilen ağırlıkların oluşturduğu P basıncı hesaplanır. P hesaplandıktan sonra, piston serbest bırakılır. Cihaz öngerilimi alınmış olur. Cihaz kalibrasyonda kullanılmak üzere hazır duruma gelir.

Kalibre edilecek basınç sensörünün ölü ağırlıkla bağlantısı yapılır. Basıncı hesaplamak için kullanılan aynı ağırlık platform üzerine yerleştirilir. Ağırlık nedeniyle, piston aşağı doğru hareket eder ve akışkan üzerine bir P basıncı uygular. Cihaz içindeki valf açılır ve böylece akışkan basıncı ölçere iletilir ve bu sayede ölçerin basınç değerini göstermesi sağlanır. Kullanılan ölü ağırlık için 120 bar'a kadar düşük basınç vanası kullanılır. 120 – 1200 bar aralığında ise yüksek basınç vanası kullanılmaktadır.



Şekil 4.7. Platforma yerleştirilen ağırlık örneği

Şekil 4.7' de gösterilen platform üzerine örnek olarak 1 bar ve 20 bar'a karşılık gelecek ağırlık yerleştirilmiştir. Platform üzerinde sadece sarı renk görülüyorsa platforma 1 bar lık düşük basınç meydana getiren ağırlık uygulanmıştır. Sarı renk ve yeşil renk birlikte görülüyorsa platforma 20 bar lık yüksek basınç meydana getiren ağırlık uygulanmıştır. Çizelge 4.7'de, basınç sensörünün bağlı olduğu göstergede okunan basınç değeri ile ağırlığa karşılık gelen basınç değeri karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 4.7. Makine basınç kalibrasyon sonuçları

Ölçüm Planı	Ölçüm Birimi	Kalibre Edilen Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme Sonucu
0	bar	0,00	-0,50	0	0,50	✓
50	bar	49,88	49,50	50	50,50	✓
100	bar	99,85	99,50	100	100,50	✓
150	bar	149,82	149,50	150	150,50	✓
200	bar	199,81	199,50	200	200,50	✓
250	bar	249,75	249,50	250	250,50	✓
300	bar	299,87	299,50	300	300,50	✓
350	bar	349,81	349,50	350	350,50	✓
400	bar	399,79	399,50	400	400,50	✓
450	bar	449,79	449,50	450	450,50	✓
500	bar	499,89	499,50	500	500,50	✓

Çizelge 4.7’ de referans ölçüm cihazı olarak kullanılan ölü ağırlık basınç sensörünün farklı basınçlarda kalibrasyon sonucu değerlendirilmeye çalışılmıştır. 0-500 bar basınç aralıklarında yapılan ölçümlerde, eğer kalibre edilen cihazda yapılan ölçüm sonuçları alt ve üst ölçüm noktası değerlerinin içinde ise $(AÖN(bar) \leq \text{Ölçüm sonucu} \leq ÜÖN(bar))$ kalibrasyon sonuçları iyi, dışında ise kalibrasyon sonuçları kötü olarak değerlendirilir. Kalibre edilen üretim makinesi ile referans olarak kullanılan ölü ağırlık cihazının ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, tüm basınç değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu görülmektedir. Burada, basınç değerleri için tolerans değerleri, makinenin kullanıldığı ölçümlerde en küçük proses toleransı olan 5 bar’ ın %10’u alınarak $\pm 0,5$ bar olarak hesaplanmıştır.

4.2.2. Karşılaştırma metodu kullanılarak manometrenin kalibrasyonu

Manometreler düşük basınçları ölçmede kullanılan temel cihazlardan biridir. Öncelikle kalibrasyonu yapılacak olan manometrenin temizliği yapılır. Kalibrasyon öncesinde, manometre içerisinde herhangi bir noktada basınç kaçağı olup olmadığının kontrol edilmesi için manometrenin göstergesi maksimum basınç noktasına çıkarılmalıdır.

Manometre maksimum ölçüm değerinde bir süre bekletilir sonrasında manometre içerisindeki akışkan boşaltılır ve sıfır noktasına getirilir. Bu yöntem üç kez tekrar edilir. Kalibrasyon yapılmaya hazır olan manometrenin referans ölçüm cihazı olan CPC8000 (High-Precision Pressure Controller) cihazı ile bağlantısı yapılır. Manometre üzerinde bulunan “zero clear” tuşuna basılarak sıfırlama yapılır. Manometrenin ölçüm aralığına göre CPC8000 cihazının ekranı üzerinde bulunan “Range Hold” kısmından basınç aralığı seçimi yapılır. Burada uygulanabilen ölçüm aralıkları -1...9 bar aralığı ve -1...100 bar aralığıdır.



Şekil 4.8. CPC8000 cihaz ekranı ölçüm aralığı seçimi

Ölçüm aralığı seçiminden sonra “Setpoint” kısmına tıklanarak istenilen ölçüm noktası girilerek sırasıyla “yeşil tik” işaretine ve “Control” butonuna basılarak ölçüm başlatılır.



Şekil 4.9. CPC8000 cihaz ekranı ölçüm nokta girişi



Şekil 4.10. Manometre-Referans cihaz bağlantısı Örneği

CPC8000 belirli bir basıncı kontrol ediyorsa ve mevcut basınç değeri toleranslar içerisindeyse, Şekil 4.10'daki ekranda ölçülen değer rengi beyazdan yeşile dönecektir. Eğer, ölçüm değeri, sensörün izin verilen tolerans aralığından çıkarsa, değer beyazdan kırmızıya döner. Ölçüm sırasında manometrenin göstergesindeki basınç değerleri ve referans cihazın (CPC8000) ekranından okunan basınç değerleri veri tablosu üzerine kaydedilir.

Çizelge 4.8. Manometre kalibrasyon sonuçları

Ölçüm No	Ölçüm Planı	Kalibre Edilen Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme Sonucu
1	0 bar	0	-0,05	0	0,05	✓
2	50 bar	49,96	49,50	50	50,05	✓
3	100 bar	99,92	99,90	100	100,10	✓
4	150 bar	149,66	149,85	150	150,15	x
5	200 bar	199,80	199,80	200	200,20	✓

Çizelge 4.8' de manometre kalibrasyonu için referans olarak CPC8000 yüksek hassasiyetli basınç kontrol cihazı ile farklı basınç değerlerinde manometre basınç ölçer cihazının kalibrasyonu incelenmiştir. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları ile referans olarak kullanılan cihazın ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. 150 bar değerindeki ölçüm haricindeki diğer basınç değerleri için yapılan kalibrasyon sonuçları tolerans içinde olduğu görülmektedir. 150 bar'daki ölçümde ise manometrenin kalibrasyon sonucunun

tolerans dışında olduğu bundan dolayı bu basınç değeri için manometrenin tamir edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Burada, basıncın tolerans değerleri cihaz teknik özellikleri ve kullanım yerine göre referans ölçüm cihazından okunan basınç değerinin $\pm\%0,1$ bar'ı olarak alınmıştır. 0 bar için ise en küçük basınç toleransı $\pm 0,05$ bar olarak alınmıştır.

Manometre belirsizlik hesabı

Ölçülen büyüklükte meydana gelen birleşik standart belirsizlikler, ayrı ayrı standart belirsizliklerin etkisi dikkate alınarak hesaplanır (Denklem (2.2)). Örneğin, sıcaklık kalibrasyonunda kullanılan PT100 cihazındaki birleşik belirsizlik hesabındaki gibi, manometre birleşik belirsizlik hesabında da, cihazın çözünürlüğünden gelen belirsizlik ($u_{\text{çözünürlük}}$), referans cihazdan gelen belirsizlik (u_{cihaz}) ve tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ($u_{\text{tekrarlı}}$) değerleri etkilidir. Buna göre manometreye ait birleştirilmiş belirsizlik ifadesi Denklem (2.2) deki gibi yazılır.

Örnek olarak, 50 bar'daki ölçüm belirsizliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$u_{\text{çözünürlük}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 2,89 \cdot 10^{-3}$$

Yukarıdaki formülde, manometre cihazının çözünürlüğü 0,01 bar'dır. $u_{\text{çözünürlük}}$ ifadesi B tipi- Dikdörtgen Dağılım belirsizlik türüne göre hesaplanmıştır.

u_{cihaz} dan gelen genişletilmiş belirsizlik ise CPC8000 cihazının sertifika değerinden bulunur ve değeri $u_{\text{genişletilmiş}}=0,005$ bar'dır. B tipi normal dağılım türüne göre, cihaz belirsizliği $u_{\text{cihaz}}= u_{\text{genişletilmiş}}/k$ olarak bulunur. Burada %95 güvenilirlik düzeyi için genişletme faktörü $k=2$ olarak alındığında $u_{\text{cihaz}}=0,0025$ bar'a eşit olur.

Tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ($u_{\text{tekrarlı}}$) ise A tipi belirsizlik türüne göre Denklem (4.4, 4.5) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çizelge 4.9. Manometre basını için tekrarlı ölçüm sonuçları

No	Tekrarlı Ölçüm Sonucu
1	49,96 bar
2	49,95 bar
3	49,96 bar

Burada n=3 adet ölçüm sonucu aşağıdaki Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Yukarıdaki Çizelge 4.9’ a göre aritmetik basınç ortalaması, $\bar{x} = 49,95667$ bar olarak hesaplanır. Yapılan ölçüm değerleri Denklem (4.5)’ te yerine yazılırsa deneysel standart sapma aşağıdaki şekilde bulunur.

$$s_{x_i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(49,95667 - 49,96)^2 + (49,95667 - 49,95)^2 + (49,95667 - 49,96)^2} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

Böylece tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ifadesi $u_{\text{tekrarlı}} = \frac{5,8 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,00333 \text{ bar}$ olarak hesaplanır.

Son olarak, manometre için birleşik belirsizlik (u_c) aşağıdaki gibi bulunur.

$$u_c = \sqrt{0,00289^2 + 0,0025^2 + 0,00333^2} = 0,00507 \text{ bar}$$

Genişletilmiş belirsizlik değeri, standart belirsizliğin normal dağılım için yaklaşık %95 güvenirlilik seviyesini sağlayan $k=2$ kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur.

Genişletilmiş belirsizlik = $0,00507 \cdot 2 = 0,010 \text{ bar}$

Diğer basınç değerleri için de ölçüm belirsizlikleri aynı yöntemle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Mamometre belirsizlik sonuçları

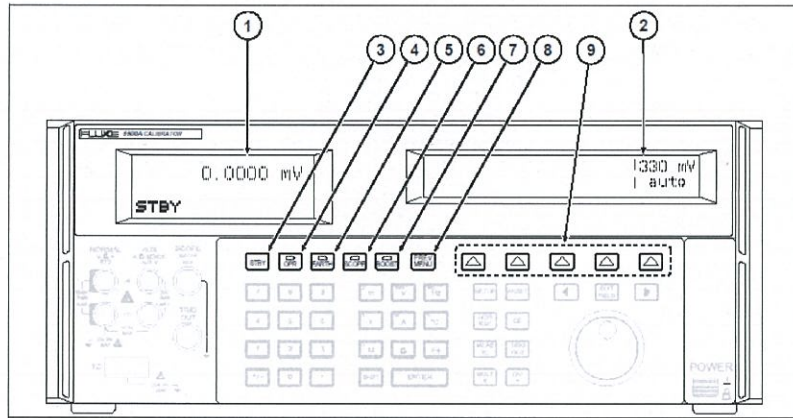
Ölçüm Noktası	Belirsizlik Kaynağı	Değeri	Birim	Dağılım Fonksiyonu	Bölen	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Standart Belirsizlik
50 bar	u _{çözünürlük}	0,01	bar	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	u _{cihaz}	0,005	bar	Normal	2			0,0025
	u _{tekrarlı}	49,96	bar	Normal	1	49,9567	5,8·10 ⁻³	0,00333
		49,95	bar					
		49,96	bar					
	Birleşik Belirsizlik		bar	Normal				0,00507
Genişletilmiş Belirsizlik		bar	Normal				0,010	
100 bar	u _{çözünürlük}	0,01	bar	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	u _{cihaz}	0,01	bar	Normal	2			0,005
	u _{tekrarlı}	99,91	bar	Normal	1	99,9067	5,8·10 ⁻³	0,00333
		99,90	bar					
		99,91	bar					
	Birleşik Belirsizlik		bar	Normal				0,0067
Genişletilmiş Belirsizlik		bar	Normal				0,013	
150 bar	u _{çözünürlük}	0,01	bar	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	u _{cihaz}	0,015	bar	Normal	2			0,0075
	u _{tekrarlı}	149,86	bar	Normal	1	149,8667	5,8·10 ⁻³	0,00333
		149,87	bar					
		149,87	bar					
	Birleşik Belirsizlik		bar	Normal				0,0087
Genişletilmiş Belirsizlik		bar	Normal				0,017	
200 bar	u _{çözünürlük}	0,01	bar	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	u _{cihaz}	0,02	bar	Normal	2			0,01
	u _{tekrarlı}	199,80	bar	Normal	1	199,8067	0,012	0,00667
		199,82	bar					
		199,8	bar					
	Birleşik Belirsizlik		bar	Normal				0,0124
Genişletilmiş Belirsizlik		bar	Normal				0,025	

4.3. Elektriksel Kalibrasyon

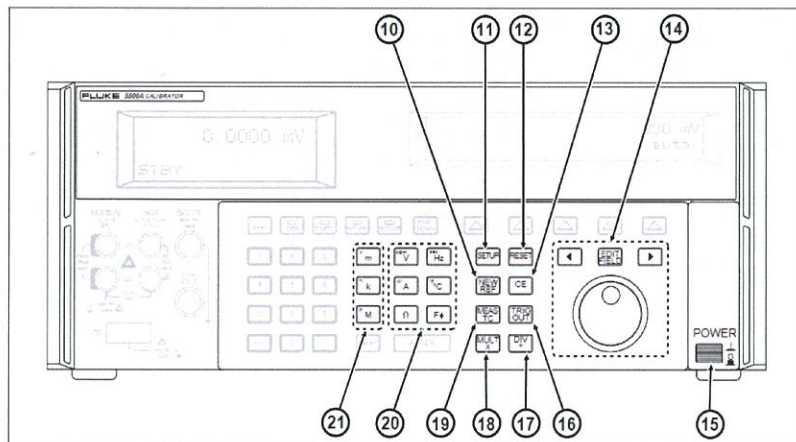
Bu bölümde, multimetre, osiloskop ve pens ampermetrenin kalibrasyonları incelenmiştir. Kalibrasyonu yapılan yukarıda bahsedilen cihazlarda referans kontrol aleti olarak Fluke 5500A kalibratörü kullanılmıştır. Aşağıda Fluke 5500A cihazına ait kullanım prosedürü anlatılmaktadır.

4.3.1. Fluke 5500A cihaz kullanımı

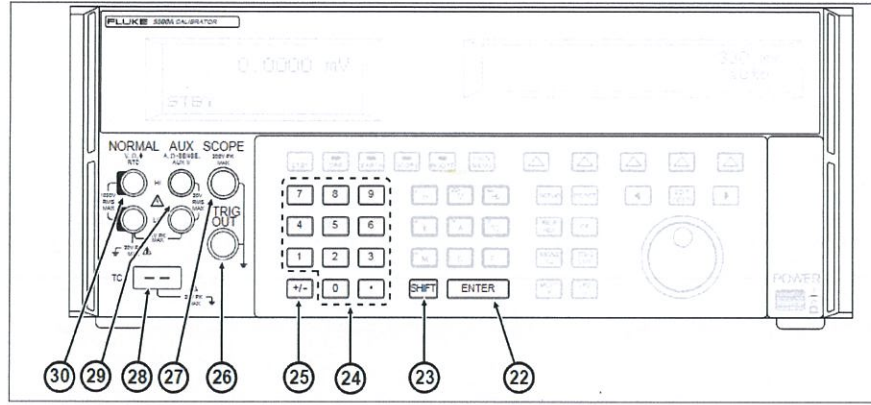
Çok çeşitli elektriksel ölçüm cihazlarını kalibre eden hassas bir cihazdır. 5500A Kalibratörü ile, AC veya DC voltajı, AC veya DC akımı, AC veya DC gücü, direnç, kapasitans ve sıcaklığı ölçen hassas multimetreler kalibre edilebilir. Aşağıdaki Şekil 4.11’ de Fluke 5500A cihazına ait ekran ve tuş takımlarının işlevleri gösterilmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 4.11. Fluke 5500A Ekran ve tuş takımı (Anonim 1994).

1. Çıkış ekranı

OPR: Ön panel terminallerinde veya yardımcı amplifikatör terminallerinde bir çıkış aktif olduğunda görüntülenir.

STB: 5500A bekleme modundayken görüntülenir.

2. Kontrol Ekranı, veri girişlerini görüntülemek için kullanılır.

3. STBY (Bekleme) tuşu, 5500A'yı bekleme moduna geçirir. Bekleme modu, çıkış ekranının sol alt köşesinde "STBY" ile gösterilir.

4. OPR (Çalıştırma) tuşu, 5500A'yı çalışma moduna geçirir. Çalışma modu, çıkış ekranının sol alt köşesinde "OPR" ile gösterilir.

5. EARTH (Topraklama) tuşu, NORMAL terminali ile topraklama arasındaki dahili bağlantıyı açar ve kapatır.

6. SCOPE (Osiloskop) tuşu, varsa ScopeCal seçeneğini etkinleştirir veya devre dışı bırakır.

7. BOOST tuşuna yalnızca 5500A veya amplifikatörden erişilebilen bir çıkış ayarı için bir amplifikatörü etkinleştirmek için ihtiyaç duyulur. Bu, daha yüksek uyum voltajı gibi genişletilmiş aralığa ek olarak amplifikatör özelliklerinden yararlanmaya olanak sağlar.

8. PREV MENÜSÜ (Önceki Menü) tuşu, önceki menü seçeneklerini geri çağırır.

9. Her bir tuşun hemen üstünde bulunan Kontrol Ekranındaki etiketlerle tanımlanır. İşlevler çalışma sırasında değişir, böylece birçok farklı işleve bu tuşlardan erişilebilir.
10. NEW REF tuşu, hata modu işlemi sırasında etkindir ve mevcut çıkış değerini, sayaç hatası hesaplaması için yeni bir referans olarak belirler.
11. SETUP (Kurulum Menüsü) tuşu, 5500A'yı kurulum moduna sokar ve kontrol ekranında kurulum menüsünü görüntüler.
12. RESET (Kalibratöre Sıfırla) tuşu, 5500A'nın geçerli çalışma durumunu iptal eder.
13. CE (Girişi Temizle) tuşu, kontrol ekranından kısmen tamamlanmış bir tuş takımı girişini temizler. CE düğmesine basıldığında kısmen tamamlanmış bir giriş varsa, çıktı etkilenmez.
14. EDIT FIELD (Çıkış Ekranı Alanını Düzenle) tuşu ve ilgili sol / sağ ok tuşları, çıkış sinyallerinin adım ayarını sağlar.
15. POWER (Birincil Güç) anahtarı gücü açar ve kapatır.
16. TRIG OUT (Tetikleyici Çıkışı) tuşu, Kapsam modundayken harici tetikleyiciyi ayarlar. 5500A, Tetikleme Çıkış tuşuna basıldığında kapsam modunda değilse, bip sesi duyulur.
17. DIV (Böl) tuşu, değer performans sınırları dahilindeyse, çıkışı hemen referans değerinin onda birine (zorunlu olarak mevcut çıkış değerine) değiştirir.
18. MULT (Multiply) tuşu, değer performans sınırları dahilindeyse, çıkışı hemen referans değerinin on katına (mutlaka mevcut çıkış değerine değil) dönüştürür.
19. MEAS TC (Ölçüm Termokupl) tuşu, TC (Termokupl) giriş bağlantısını etkinleştirir ve 5500A'nın girişte mevcut olan gerilime dayanarak bir sıcaklık hesaplamasını sağlar.
20. Çıkış birimleri tuşları, 5500A'nın işlevini belirler.
21. Çıkış değeri çarpanları seçilir.

22. ENTER (Enter Value) tuşu, Kontrol Ekranında gösterilen yeni girilen bir çıkış değerinin kaydedilmesini sağlar.
23. SHIFT (Shift Key Fonksiyonu), birim tuşlarının alternatif fonksiyonlarını ve çarpan tuşlarının alternatif çarpanlarını seçmek için kullanılır.
24. Çıkış genliği ve frekansının rakamlarını girmek için kullanılır.
25. Çıkış polaritesini değiştirmek için +/- tuşuna ve ardından ENTER'a basılır.
26. RIG OUT (Tetik Çıkış) BNC konnektörü, osiloskop kalibrasyonu sırasında osiloskopu tetiklemek için kullanılır.
27. SCOPE (Osiloskop) konnektörü, osiloskop kalibrasyonu sırasında çıkışlar için kullanılır.
28. Termokupl konnektörü, sıcaklık ölçer kalibrasyonu ve termokupl ölçümleri sırasında termokupl simülasyonu için kullanılır.
29. AUX (Yardımcı Çıkış) jakları AC ve DC akım çıkışları, voltaj ve kapasitans ölçümleri için kullanılır.
30. NORMAL (Normal Çıkış) jakları AC ve DC voltajı, ohm ve kapasitans kaynağı ve direnç Sıcaklığı dedektörü (RTD) simülasyonu için kullanılır.

4.3.2. Multimetre nin kalibrasyonu

Kalibrasyonu yapılan multimetre modeli Fluke 289'dur (Şekil 4.12). Aşağıdaki Çizelge (4.11), Fluke 289 multimetre cihazına ait tuş ve simgelerin işlevleri gösterilmektedir.



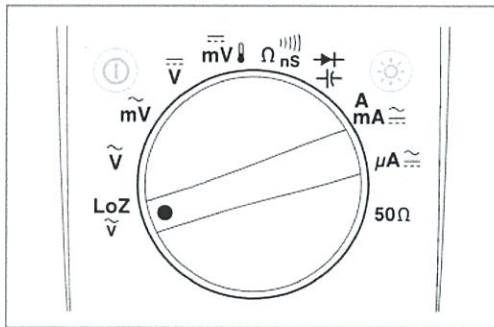
Şekil 4.12. Fluke 289 Multimetre Cihazı

Çizelge 4.11. Fluke 289 Multimetre Cihazı kullanım tuşları ve fonksiyonları (Anonim 2007c)

Simge	Açıklama	Simge	Açıklama
~	AC (Alternatif Akım veya Voltaj)	☐	Sigorta
≡	DC (Direkt Akım veya Voltaj)	☐	Çift Yalıtımlı
⚠	Tehlikeli Voltaj	⚠	Önemli Bilgiler; elkitabına bakın
🔋	Pil (Göstergede görüntülediğinde pili zayıflamıştır)	⚡	Topraklama
🔊	Süreklilik testi veya süreklilik sesli uyarı sesi	CS	İlgili Kanada ve ABD standartlarına uygundur
CE	Avrupa Birliği direktiflerine uygundur	N10140	İlgili Avustralya standartlarına uygundur
UL	Underwriters Laboratory listesinde bulunan ürün	TÜV	TÜV Ürün Hizmetleri tarafından denetlenmiş ve lisans almıştır

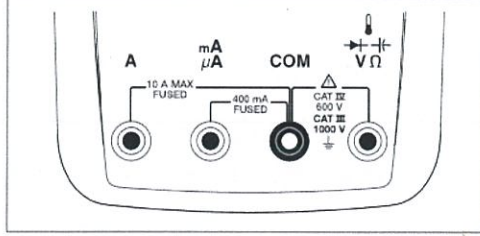
Düğme	İşlev
⏻	Metreyi açıp kapatır.
F1 F2 F3 F4	Döner düğme işleviyle ilgili alt işlevleri ve modları seçer.
⏪ ⏩	Navigasyon düğmeleri, bir menüdeki bir maddeyi seçer, göstergenin karşıtlığını ayarlar, bilgilerde gezinir ve veri girişlerini gerçekleştirir.
HOLD	Göstergedeki mevcut değeri dondurur ve göstergenin kaydedilmesini sağlar. Ayrıca AutoHold'a (Otomatik Tutmaya) da erişir.
RANGE	Metre aralığı modunu manüele alır ve sonra tüm aralıklarda gezinir. Otomatik aralığa dönmek için düğmeyi 1 saniye boyunca basılı tutun.
MIN MAX	MIN MAKS kaydını başlatır ve durdurur.
Info	Bilgi düğmesine basıldığı anda göstergede görüntülenen mevcut işlev veya maddeler hakkındaki bilgileri görüntüler.
☀	Göstergenin arka plan ışığını kapalı, kısık ve yüksek arasında değiştirir.

a)



Düğme Konumu	İşlev
LoZ	Düşük bir giriş empedansının kullanıldığı AC voltajı ölçümü (sadece 289 modeli)
V	AC voltajı ölçümleri
mV	AC mili volt ölçümleri
V	DC ve ac+dc voltajı ölçümleri
mV	DC mili volt, ac+dc mili volt ve sıcaklık ölçümleri
Ω	Direnç, süreklilik ve iletkenlik ölçümleri
+	Diyot testi ve kapasite ölçümleri
A	AC, dc ve ac+dc amperleri ve mili amper ölçümleri
μA	AC, dc ve ac+dc mikro amper ölçümleri, maksimum 5 000 μA
50Ω	50Ω aralığıyla direnç ölçümleri (sadece 289 modeli)

b)



Uç	Açıklama
A	0 A ile 10,00 A arası akım (20 VA aşırı yüklenmesi 30 saniye açık, 10 dakika kapalı), frekans ve görev periyodu ölçümleri girişi.
mA μA	0 A ile 400 mA arası akım ölçümleri, frekans ve görev periyodu girişi.
COM	Tüm ölçümler için dönüş ucu.
VΩ	Voltaj, süreklilik, direnç, diyot testi, iletkenlik, kapasite, frekans, sıcaklık, periyot ve görev periyodu ölçümleri girişi.

c)

Multimetrenin prob uçları bir devreye bağlanacaktır, böylece devreden geçen elektrik akışı ölçülecektir. Burada kullanılan referans ölçüm cihazı (kalibratör) Fluke 5500A'dır. İlk olarak kalibrasyonu yapılacak olan multimeter cihazının kablolarının kopuk olup olmadığı kontrol edilir. Kablosunda herhangi bir hasar olmayan cihaz Fluke 5500A kalibratörüne bağlanır. Multimetrenin kalibrasyonu sırasıyla AC, DC voltajlarının ölçümü, direnç, kapasite, frekans, sıcaklık ve akım ölçümleri için yapılmıştır.

Multimetrenin AC voltaj kalibrasyonu

Multimeter kalibrasyonu esnasında kullanılan siyah uçlu prob multimeter üzerinde bulunan "COM" girişi ucuna, kırmızı uçlu prob ise "Voltaj ölçüm" girişi ucuna bağlanır. Multimeter cihazının kablo bağlantısı kalibratör üzerinde bulunan "Normal çıkış" olarak adlandırılan voltaj kısmına bağlanır. Kırmızı prob ucu kalibratörün (+) kısmına, siyah prob ise (-) kısmına bağlanır. Multimetrenin döner düğmesini mV ölçümü için \tilde{mV} ayarı üzerine V ölçümü için \tilde{V} ayarı üzerine getirilir. AC voltajını ölçmek için kalibratör üzerinden istenilen değer yazılır ve "Enter" tuşuna basıldıktan sonra "ORS" tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden gerilim uygulanarak ölçüm sonucunun multimeter üzerinden okunması sağlanır. Değer okunması sonrasında kalibratör üzerinden "STBY" tuşuna basılarak kalibrasyon sonlandırılır. Kalibratör üzerinde ters bağlantı yapılmış ise okunan değerler (-) işaretli görülür.



Şekil 4.13. Multimetre AC voltaj kalibrasyonu

Multimetrenin DC voltaj kalibrasyonu

Siyah ve kırmızı uçlu probun multimetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. Multimetrenin döner düğmesini mV ölçümü için \overline{mV} ayarı üzerine V ölçümü için \overline{V} ayarı üzerine getirilir. DC voltajını ölçmek için kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve “Enter” tuşuna basıldıktan sonra “ORS” tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden voltaj değeri uygulanarak ölçüm sonucunun multimetre üzerinden okunması sağlanır. Değer okunması sonrasında kalibratör üzerinden “STBY” tuşuna basılarak kalibrasyon sonlandırılır. Kalibratör üzerinde ters bağlantı yapılmış ise okunan değerler (-) işareti görülmektedir.



Şekil 4.14. Multimetre DC voltaj kalibrasyonu

Multimetrenin direnç kalibrasyonu

Siyah ve kırmızı uçlu probun multimetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. Multimetrenin döner düğmesini Ω ölçümü için $\Omega_{ns}^{)))}$ ayarı üzerine getirilir. Burada ohm, kohm ve Mohm birimlerinde ölçüm yapılmaktadır.

Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazıldıktan sonra AC voltaj ölçümündeki işlem sırası aynen takip edilerek kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 4.15. Multimetre direnç kalibrasyonu

Multimetrenin kapasite kalibrasyonu

Multimetre, kapasite ölçümü için kapasitöre belirli sürede akım yükler ve oluşan voltajın ölçümünü yaptıktan sonra kapasiteyi hesaplar. Multimetrenin kapasite ölçümü mikro ve nano Farad (μF , nF) biriminde ölçülmektedir. Siyah ve kırmızı uçlu probun multimetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. Multimetrenin döner düğmesini μF ölçümü için C ayarı üzerine getirilerek kapasite konumuna alınır. Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazıldıktan sonra AC voltaj ölçümündeki işlem sırası aynen takip edilerek kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 4.16. Multimetre kapasite kalibrasyonu

Multimetrenin frekans kalibrasyonu

Her saniyede tamamlanmış periyod sayısı frekans olarak adlandırılır. Multimetrenin frekans (Hz, kHz) birimlerinde ölçüm gerçekleştirilir. Siyah ve kırmızı uçlu probun multimetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. Multimetrenin döner düğmesini Hz ölçümü için \tilde{V} ayarı üzerine getirilir. Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazıldıktan sonra AC voltaj ölçümündeki işlem sırası aynen takip edilerek kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 4.17. Multimetre frekans kalibrasyonu

Multimetrenin sıcaklık kalibrasyonu

Multimetrenin genellikle K tipi sıcaklık sensör ölçümünde kullanılması nedeni ile kalibrasyon için K tipi kablo ve soketi kullanılır. Kablo ve soket multimetre üzerinde bulunan "COM" girişi ucuna, kalibratör üzerinde ise "Termokupl konnektörü" ucuna bağlanır. Multimetrenin döner düğmesi sıcaklık ölçümü için $\text{I} \rightarrow \text{V} \Omega$ ayarı üzerine getirilir. Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazıldıktan sonra AC voltaj ölçümündeki işlem sırası aynen takip edilerek kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 4.18. Multimetre sıcaklık kalibrasyon

Multimetrenin akım kalibrasyonu

Multimetre akım kademesine getirilir. Kalibratör ile akım değeri uygulanarak multimetreden akım değerinin okunması sağlanır. Multimetre kalibrasyonu esnasında kullanılan siyah uçlu prob multimetre üzerinde bulunan "COM" giriş ucuna bağlanır. Kırmızı uçlu prob ise μA ve mA ölçümü için "0 ...400A akım ölçüm" giriş ucuna, A ölçümü için "0...10A akım ölçüm" giriş ucuna bağlanır. Multimetre cihazının kablo bağlantısı kalibratör üzerinde bulunan "AUX (Yardımcı çıkış)" kısmına bağlanır. Kırmızı prob ucu kalibratörün (+) kısmına, siyah prob ise (-) kısmına bağlanır. Multimetrenin döner düğmesini μA ölçümü için $\mu\text{A} \approx \text{mV}$ ayarı üzerine, mA veya A ölçümü için $\text{mA} \approx$ ayarı üzerine getirilir. Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazıldıktan sonra AC voltaj ölçümündeki işlem sırası aynen takip edilerek kalibrasyon sonlandırılır.



Şekil 4.19. Multimetre akım kalibrasyonu

Multimetre kalibrasyon sonuçları

Çizelge 4.12. Multimetrenin kalibrasyon sonuçları

Ölçüm Planı	Birim	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
50.000 mV DC	mV	49,999	49,975	50,000	50,025	✓
50.000 mV DC	mV	-50,024	-50,025	-50,000	-49,975	✓
500.000 mV DC	mV	499,960	499,850	500,000	500,150	✓
500.000 mV DC	mV	-500,040	-500,150	-500,000	-499,850	✓
5,0000 V DC	V	4,9997	4,9985	5,0000	5,0015	✓
5,0000 V DC	V	-4,9999	-5,0015	-5,0000	-4,9985	✓
50,000 V DC	V	50,000	49,985	50,000	50,015	✓
50,000 V DC	V	-49,999	-50,015	-50,000	-49,985	✓
500,00 V DC	V	500,00	499,85	500,00	500,15	✓
500,00 V DC	V	-500,00	-500,15	-500,00	-499,85	✓
1000,0 V DC	V	1000,0	999,7	1000,0	1000,3	✓
1000,0 V DC	V	-1000,0	-1000,3	-1000,0	-999,7	✓
50,000 mV AC/45Hz	mV	50,015	49,250	50,000	50,750	✓
50,000 mV AC/400Hz	mV	50,029	49,800	50,000	50,200	✓
50,000 mV AC/1kHz	mV	50,006	49,800	50,000	50,200	✓
50,000 mV AC/45Hz	mV	500,180	492,500	500,000	507,500	✓
50,000 mV AC/400Hz	mV	500,280	498,000	500,000	502,000	✓
500,00 mV AC/1kHz	mV	500,04	498,00	500,00	502,00	✓
5,0000 V AC/45Hz	V	5,0098	4,9250	5,0000	5,0750	✓
5,0000 V AC/400Hz	V	5,0096	4,9700	5,0000	5,0300	✓
5,0000 V AC/1kHz	V	5,0073	4,9700	5,0000	5,0300	✓
50,000 V AC/45Hz	V	50,0921	49,2500	50,0000	50,7500	✓
50,000 V AC/400Hz	V	50,099	49,800	50,000	50,200	✓
50,000 V AC/1kHz	V	50,077	49,800	50,000	50,200	✓
500,00 V AC/45Hz	V	500,56	492,50	500,00	507,50	✓
500,00 V AC/400Hz	V	500,61	498,00	500,00	502,00	✓
500,00 V AC/1kHz	V	500,33	498,00	500,00	502,00	✓
1000,0 V AC/45Hz	V	1000,6	985,0	1000,0	1015,0	✓
1000,0 V AC/400Hz	V	1000,6	996,0	1000,0	1004,0	✓
1000,0 V AC/1kHz	V	1000,4	996,0	1000,0	1004,0	✓
500,00 µA DC	µA	499,95	499,60	500,00	500,40	✓

Çizelge 4.12. Multimetrenin kalibrasyon sonuçları (Devam)

5000,0 µA DC	µA	4999,3	4996,0	1000,0	5004,0	✓
50,000 mA DC	mA	49,994	49,975	50,000	50,025	✓
400,00 mA DC	mA	399,941	399,400	400,000	400,600	✓
5,0000 A DC	A	4,9991	4,9850	5,0000	5,0150	✓
10,000 A DC	A	9,999	9,970	10,000	10,030	✓
500,00 µA AC/400Hz	µA	500,13	497,00	500,00	503,00	✓
5000,0 µA AC/400Hz	µA	5002,8	4970,0	5000,0	5030,0	✓
50,000 mA AC/400Hz	mA	49,995	49,700	50,000	50,300	✓
400,00 mA AC/400Hz	mA	400,38	397,60	400,00	402,40	✓
5,0000 A AC/400Hz	A	4,9983	4,9600	5,0000	5,0400	✓
10,000 A AC/400Hz	A	10,010	9,920	10,000	10,080	✓
50,000 Ohm(2W)	Ohm	49,990	49,925	50,000	50,075	✓
500,00 Ohm(2W)	Ohm	500,20	499,75	500,00	500,25	✓
5,0000 kOhm(2W)	kOhm	5,0020	4,9975	5,0000	5,0025	✓
50,000 kOhm(2W)	kOhm	50,020	49,975	50,000	50,025	✓
500,00 kOhm(2W)	kOhm	500,10	499,75	500,00	500,25	✓
5,0000 MOhm(2W)	MOhm	5,0000	4,9925	5,0000	5,0075	✓
30,000 MOhm(2W)	MOhm	30,010	29,550	30,000	30,450	✓
50,00 MOhm(2W)	MOhm	50,00	49,25	50,00	50,75	✓
100,0 MOhm(2W)	MOhm	100,1	92,0	100,0	108,0	✓
1,000 nF	nF	0,990	0,990	1,000	1,010	✓
10,00 nF	nF	10,10	9,90	10,00	10,10	✓
100,0 nF	nF	100,2	99,0	100,0	101,0	✓
1,000 µF	µF	1,001	0,990	1,000	1,010	✓
10,00 µF	µF	10,00	9,90	10,00	10,10	✓
100,0 µF	µF	99,9	99,0	100,0	101,0	✓
1000 µF	µF	999	990	1000	1010	✓
Diod Test	V	3,1005	3,0690	3,1000	3,1310	✓
-100°C	°C	-99,8	-101,0	-100,0	-99,0	✓
500°C	°C	500,2	495,0	500,0	505,0	✓
1000°C	°C	1000,2	990,0	1000,0	1010,0	✓
100 Hz/1V	Hz	100,00	99,98	100,00	100,02	✓
1000 Hz/1V	Hz	1000,0	99,9	1000,0	100,1	✓
10 kHz/1V	kHz	10,000	9,999	10,000	10,001	✓
100 kHz/1V	kHz	100,00	99,99	100,00	100,01	✓
Loz Volt	V	100,00	99,00	100,00	101,00	✓
Loz Volt	V	500,00	495,00	500,00	505,00	✓

Çizelge 4.12. Multimetrenin kalibrasyon sonuçları (Devam)

Loz Volt	V	1000,70	999,00	1000,00	1010,00	✓
Loz Volt 50 Hz	V	100,40	98,00	100,00	102,00	✓
Loz Volt 50 Hz	V	502,5	490,0	500,5	510,0	✓
Loz Volt 50 Hz	V	1005,0	980,0	1000,0	1020,0	✓
Loz Ohm	Ohm	50,158	49,000	50,000	51,000	✓

Çizelge 4.12’ de referans ölçüm cihazı olarak kullanılan Fluke 5500A cihazının farklı volt, direnç, kapasite, frekans, sıcaklık ve akım değerleri için kalibrasyon sonuçları verilmiştir. Kalibre edilen multimetre ile referans olarak kullanılan Fluke 5500A kalibratörünün ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, tüm elektriksel ölçüm değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu gözlenmiştir. Burada, elektriksel değerler için tolerans değerleri, Fluke 289 multimetre cihazının teknik özelliklerinden alınmıştır.

Multimetre belirsizlik hesabı

Ölçülen büyüklükte meydana gelen birleşik standart belirsizlikler, ayrı ayrı standart belirsizliklerin etkisi dikkate alınarak hesaplanır (Denklem (2.2)). Örneğin, sıcaklık kalibrasyonunda kullanılan PT100 cihazındaki birleşik belirsizlik hesabındaki gibi, multimetre birleşik belirsizlik hesabında da, cihazın çözünürlüğünden gelen belirsizlik ($u_{\text{çözünürlük}}$), referans cihazdan gelen belirsizlik (u_{cihaz}) ve tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ($u_{\text{tekrarlı}}$) değerleri etkilidir. Buna göre multimetreye ait birleştirilmiş belirsizlik ifadesi Denklem (2.2)’ deki gibi yazılır.

Örnek olarak, 50 mV’deki ölçüm belirsizliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$u_{\text{çözünürlük}} = \frac{0,001}{2\sqrt{3}} = 289 \cdot 10^{-3}$$

Yukarıdaki formülde, multimetre cihazının çözünürlüğü 0,001 mV’dir. $u_{\text{çözünürlük}}$ ifadesi B tipi- Dikdörtgen Dağılım belirsizlik türüne göre hesaplanmıştır. u_{cihaz} dan gelen genişletilmiş belirsizlik ise Fluke 5500A cihazının sertifika değerinden bulunur ve değeri $u_{\text{genişletilmiş}}=0,00126$ mV’ dir.

B tipi normal dağılım türüne göre, cihaz belirsizliği $u_{\text{cihaz}} = u_{\text{genisletilmis}}/k$ olarak bulunur. Burada %95 güvenilirlik düzeyi için genişletme faktörü $k=2$ olarak alındığında $u_{\text{cihaz}}=0,00063$ mV'ye eşit olur.

Tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik (u_{tekrarli}) ise A tipi belirsizlik türüne göre Denklem (4.4, 4.5) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çizelge 4.13. Multimetre için tekrarlı ölçüm sonuçları

No	Tekrarlı Ölçüm Sonucu
1	49,999 mV
2	49,999 mV
3	49,997 mV

Burada $n=3$ adet ölçüm sonucu aşağıdaki Çizelge 4.13'de gösterilmiştir.

Yukarıdaki Çizelge 4.13' e göre aritmetik basınç ortalaması, $\bar{x} = 49,9983$ mV olarak hesaplanır. Yapılan ölçüm değerleri Denklem (4.5)' te yerine yazılırsa deneysel standart sapma aşağıdaki şekilde bulunur.

$$s_{x_i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(49,9983 - 49,999)^2 + (49,9983 - 49,999)^2 + (49,9983 - 49,997)^2} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mV}$$

Böylece tekrarlı ölçümden gelen belirsizlik ifadesi $u_{\text{tekrarli}} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,000667$ mV olarak hesaplanır. Son olarak, multimetre için birleşik belirsizlik (u_c) aşağıdaki gibi bulunur.

$$u_c = \sqrt{0,000289^2 + 0,00063^2 + 0,000667^2} = 0,00303 \text{ mV}$$

Genişletilmiş belirsizlik değeri, standart belirsizliğin normal dağılım için yaklaşık %95 güvenilirlik seviyesini sağlayan $k=2$ kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur.

$$\text{Genişletilmiş belirsizlik} = 0,00303 \cdot 2 = 0,006 \text{ mV}$$

Diğer basınç değerleri için de ölçüm belirsizlikleri aynı yöntemle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Multimetrenin belirsizlik sonuçları

Ölçüm Noktası	Belirsizlik Kaynağı	Değeri	Birim	Dağılım Fonksiyonu	Bölen	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Standart Belirsizlik
DC 50 mV	uçözünürlük	0,001	mV	Dikdörtgen	2√3			0,000289
	ucihaz	0,00126	mV	Normal	2			0,00063
	utekrarlı	49,999	mV	Normal	1	49,9983	1,2.10-3	0,000667
		49,999	mV					
		49,997	mV					
	Birleşik Belirsizlik		mV	Normal				0,00303
Genişletilmiş Belirsizlik		mV	Normal				0,006	
DC 500 mV	uçözünürlük	0,01	mV	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	ucihaz	0,0059	mV	Normal	2			0,00295
	utekrarlı	500,01	mV	Normal	1	500,0100	580.10-6	0
		500,01	mV					
		500,01	mV					
	Birleşik Belirsizlik		mV	Normal				0,0041
Genişletilmiş Belirsizlik		mV	Normal				0,008	
DC 1000 V	uçözünürlük	0,1	V	Dikdörtgen	2√3			0,0289
	ucihaz	0,0125	V	Normal	2			0,00625
	utekrarlı	1000,0	V	Normal	1	1.000,0333	0,058	0,0333
		1000,0	V					
		1000,01	V					
	Birleşik Belirsizlik		V	Normal				0,0445
Genişletilmiş Belirsizlik		V	Normal				0,089	
AC/400 Hz/ 500,0 mV	uçözünürlük	0,01	mV	Dikdörtgen	2√3			0,00289
	ucihaz	0,0324	mV	Normal	2			0,0162
	utekrarlı	500,28	mV	Normal	1	500,2800	0,010	0,00577
		500,29	mV					
		500,27	mV					
	Birleşik Belirsizlik		mV	Normal				0,0174
Genişletilmiş Belirsizlik		mV	Normal				0,035	
AC/400 Hz/ 1000,0 V	uçözünürlük	0,1	V	Dikdörtgen	2√3			0,0289
	ucihaz	0,342	V	Normal	2			0,171
	utekrarlı	1000,6	V	Normal	1	1.000,5667	0,058	0,0333
		1000,6	V					
		1000,5	V					
	Birleşik Belirsizlik		V	Normal				0,1766
Genişletilmiş Belirsizlik		V	Normal				0,353	

Çizelge 4.14. Multimetre nin belirsizlik sonuçları (Devam)

DC 5A	uçözünürlük	0,0001	A	Dikdörtgen	$2\sqrt{3}$			0,0000289
	ucihaz	0,00337	A	Normal	2			0,001685
	utekrarlı	4,9991	A	Normal	1	4,4992	0,0001	0,0000577
		4,9992	A					
		4,9993	A					
	Birleşik Belirsizlik		A	Normal				0,0289
Genişletilmiş Belirsizlik		A	Normal				0,058	
AC/400 Hz/ 5A	uçözünürlük	0,0001	A	Dikdörtgen	$2\sqrt{3}$			0,0000289
	ucihaz	0,00138 3	A	Normal	2			0,0006915
	utekrarlı	4,9983	A	Normal	1	4,998266	0,000058	0,0000333
		4,9982	A					
		4,9983	A					
	Birleşik Belirsizlik		A	Normal				0,0007
Genişletilmiş Belirsizlik		A	Normal				0,001	
5 MOhm	uçözünürlük	0,0001	Mohm	Dikdörtgen	$2\sqrt{3}$			0,0000289
	ucihaz	0,00123	Mohm	Normal	2			0,000615
	utekrarlı	5,0000	Mohm	Normal	1	5,0000667	0,000058	0,0000333
		5,0001	Mohm					
		5,0001	Mohm					
	Birleşik Belirsizlik		Mohm	Normal				0,0006
Genişletilmiş Belirsizlik		Mohm	Normal				0,001	
1000 µF	uçözünürlük	0,1	Mohm	Dikdörtgen	$2\sqrt{3}$			0,0289
	ucihaz	0,125	Mohm	Normal	2			0,0625
	utekrarlı	999	Mohm	Normal	1	998,667	0,580000	0,333
		999	Mohm					
		998	Mohm					
	Birleşik Belirsizlik		Mohm	Normal				0,3400
Genişletilmiş Belirsizlik		Mohm	Normal				0,001	
1000°C	uçözünürlük	0,05	Mohm	Dikdörtgen	$2\sqrt{3}$			0,0289
	ucihaz	0,225	Mohm	Normal	2			0,1125
	utekrarlı	1000,2	Mohm	Normal	1	1.000,167	0,058	0,0333
		1000,2	Mohm					
		1000,1	Mohm					
	Birleşik Belirsizlik		Mohm	Normal				0,1208
Genişletilmiş Belirsizlik		Mohm	Normal				0,001	

4.3.3. Osiloskop kalibrasyonu

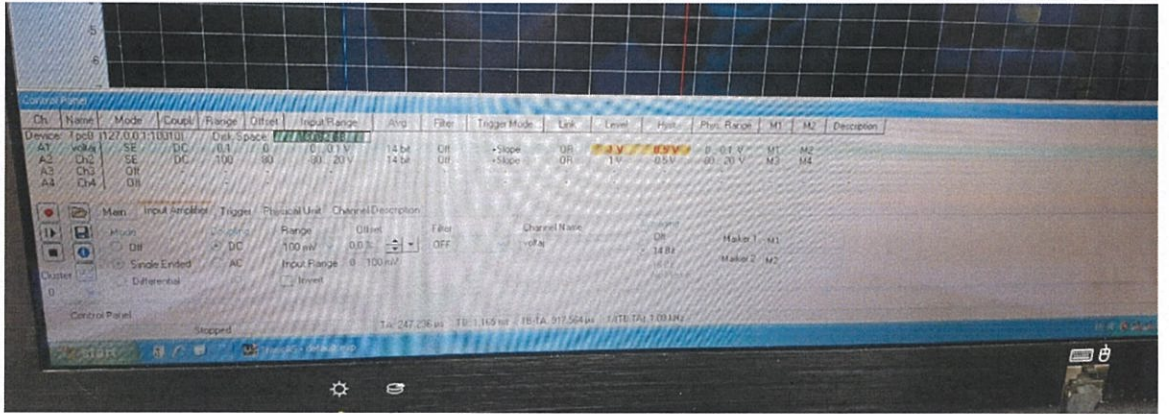
İlk olarak, kalibrasyon için kullanılacak kablonun kopuk olup olmadığı kontrol edilir. Kabloda herhangi bir hasar yok ise kalibrasyona başlanır. Kablonun bir ucu osiloskoptaki kanal-1'e diğer ucu ise Fluke 5500A kalibratörü üzerindeki "SCOPE" kısmına bağlanır. Bu bölümde, osiloskop cihazının voltaj ve zaman ölçüm kalibrasyonları yapılmaktadır.



Şekil 4.20. Osiloskop bağlantı şekli

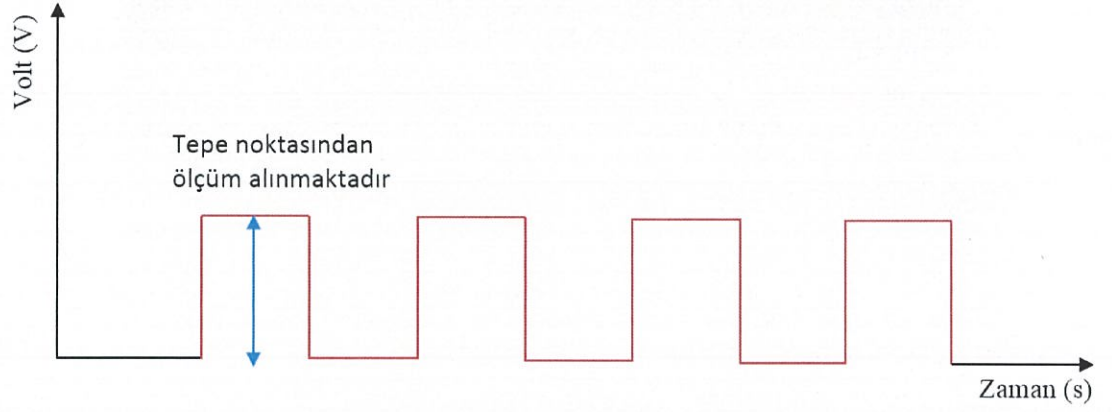
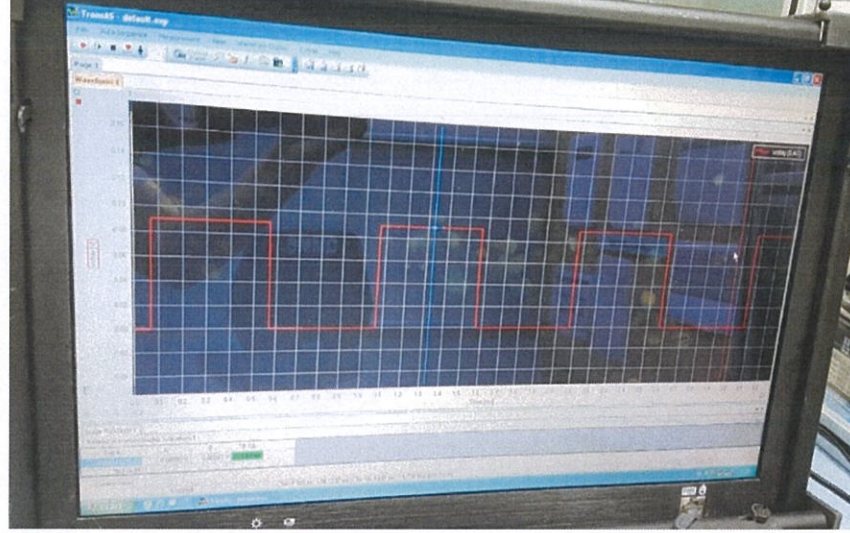
Osiloskopun voltaj kalibrasyonu

"Volt" anahtarı ayarlanarak sinyalin ekran üzerinde görünür hale gelmesi sağlanır. Voltaj ölçmek için kalibratör cihazı olan Fluke 5500A üzerinden istenilen değerler yazılır ve "Enter" tuşuna basıldıktan sonra "ORS" tuşu kullanılarak ölçüm sonucunun osiloskop ekranı üzerinden okunması sağlanır.



Şekil 4.21. Osiloskop volt ölçüm ekranı

Voltaj ölçümü için osiloskop ekranında kare dalga sinyali görülür. Kare dalga sinyalinin tepe noktasına gelindiğinde ölçüm sonucu okunur (Şekil 4.21).



Şekil 4.22. Voltaj kare dalga sinyali

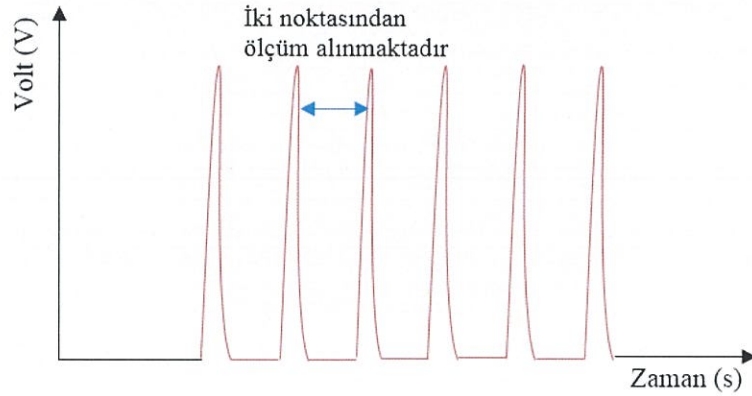
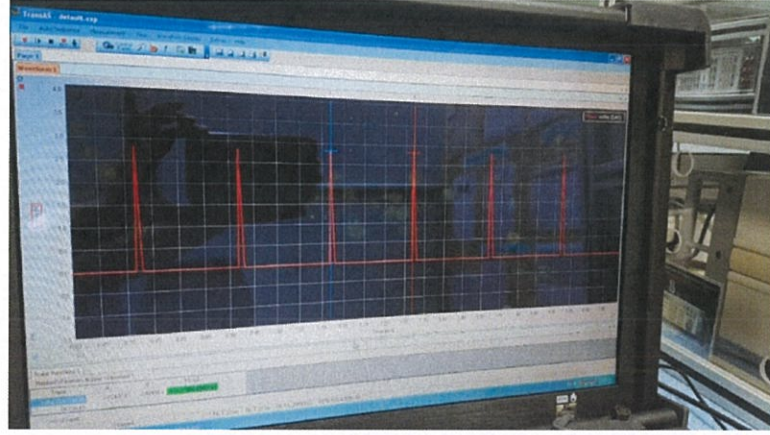
Çizelge 4.15. Osiloskop kalibrasyonunun voltaj ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Ölçüm Planı	Birim	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
1	0.1Volt / 0.00 offset	V	0,09010	0,08964	0,09000	0,09036	✓
2	0.2Volt / 0.00 offset	V	0,18008	0,17946	0,18000	0,18054	✓
3	0.5Volt / 0.00 offset	V	0,45009	0,44910	0,45000	0,45090	✓
4	1.0Volt / 0.00 offset	V	0,89996	0,89820	0,90000	0,90180	✓
5	2.0Volt / 0.00 offset	V	1,79995	1,79640	1,80000	1,80360	✓
6	5.0Volt / 0.00 offset	V	4,49966	4,49100	4,50000	4,50900	✓
7	10.0Volt / 0.00 offset	V	8,99977	8,98200	9,00000	9,01800	✓
8	20.0Volt / 0.00 offset	V	18,00190	17,96400	18,00000	18,03600	✓
9	50.0Volt / 0.00 offset	V	44,98124	44,91000	45,00000	45,09000	✓
10	75.0Volt / 0.00 offset	V	62,99334	62,87400	63,00000	63,12600	✓
11	0.1Volt / 50.00 offset	V	0,04495	0,04482	0,04500	0,04518	✓
12	0.2Volt / 50.00 offset	V	0,09004	0,08973	0,09000	0,09027	✓
13	0.5Volt / 50.00 offset	V	0,22509	0,22455	0,22500	0,22545	✓
14	1.0Volt / 50.00 offset	V	0,45027	0,44910	0,45000	0,45090	✓
15	2.0Volt / 50.00 offset	V	0,89967	0,89820	0,90000	0,90180	✓
16	5.0Volt / 50.00 offset	V	2,25052	2,24550	2,25000	2,25450	✓
17	10.0Volt / 50.00 offset	V	4,49945	4,49100	4,50000	4,50900	✓
18	20.0Volt / 50.00 offset	V	8,99743	8,98200	9,00000	9,01800	✓
19	50.0Volt / 50.00 offset	V	22,49459	22,45500	22,50000	22,54500	✓
20	75.0Volt / 50.00 offset	V	44,97113	44,91000	45,00000	45,09000	✓
21	0.1Volt / 100.00 offset	V	-0,09019	-0,09036	-0,09000	-0,08964	✓
22	0.2Volt / 100.00 offset	V	-0,18028	-0,18054	-0,18000	-0,17946	✓
23	0.5Volt / 100.00 offset	V	-0,45017	-0,45090	-0,45000	-0,44910	✓
24	1.0Volt / 100.00 offset	V	-0,90005	-0,90180	-0,90000	-0,89820	✓
25	2.0Volt / 100.00 offset	V	-1,80060	-1,80360	-1,80000	-1,79640	✓
26	5.0Volt / 100.00 offset	V	-4,50042	-4,50900	-4,50000	-4,49100	✓
27	10.0Volt / 100.00 offset	V	-9,00148	-9,01800	-9,00000	-8,98200	✓
28	20.0Volt / 100.00 offset	V	-17,99941	-18,03600	-18,00000	-17,96400	✓
29	50.0Volt / 100.00 offset	V	-44,98434	-45,09000	-45,00000	-44,91000	✓
30	75.0Volt / 100.00 offset	V	-63,00244	-63,12600	-63,00000	-62,87400	✓

Çizelge 4.15 'te referans ölçüm cihazı olarak kullanılan Fluke 5500A kalibratörünün farklı volt ve offset, değerleri için kalibrasyon sonuçları verilmiştir. Kalibre edilen osiloskop ile kalibratörün ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, yapılan kalibrasyonun tolerans içinde (iyi) olduğu gözlenmiştir. Osiloskop cihazındaki teknik özelliklerden tanımlanan tolerans değerleri, farklı offset değerleriyle orantılı olarak değişmektedir.

Osiloskopun zaman kalibrasyonu

Fluke 5500A kalibratör cihazı “TIME MARKER” moduna alınır. Kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve “Enter” tuşuna basıldıktan sonra “ORS” tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden sinyal gönderilir. Gelen sinyalde iki tepe arasındaki genlik değeri Osiloskop cihazından okunmaktadır.



Şekil 4.23. Zaman sinyali

Çizelge 4.16. Osiloskop kalibrasyonunun zaman ölçüm sonuçları

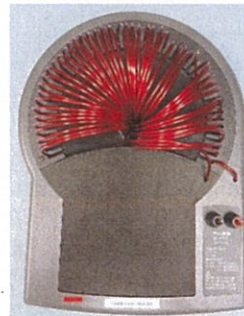
Ölçüm Planı	Birim	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
200 μ s	μ s	199,99987	199,00000	200,00000	201,00000	✓
1 ms	ms	1,00004	0,99500	1,00000	1,00500	✓

Çizelge 4.16’ da referans ölçüm cihazı olarak kullanılan Fluke 5500A cihazının farklı zaman değerleri için kalibrasyon sonuçları verilmiştir. Kalibre edilen multimetre ile referans olarak kullanılan Fluke 5500A cihazının ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, tüm zaman değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu gözlenmiştir.

Not: Kalibrasyon sonuçları tolerans dışı çıkarsa osiloskop cihazı “AUTO_SETUP” yapılarak fabrika ayarlarına döndürülür. Cihaz içinde herhangi bir ayar (set) değeri bulunuyorsa kalibrasyon işlemi esnasında ayarın ölçüme olan etkisi ortadan kaldırılır ve ölçümler tekrar edilir.

4.3.4. Pens Ampermetre kalibrasyonu

Ampermetre kalibrasyonu, akım kalibratörleri kullanılarak gerçekleştirilir. Kalibrasyonu yapılacak olan pens ampermetre modeli Fluke 376’dır. Pens ampermetre prob uçları bir devreye bağlanacaktır, böylece devreden geçen elektrik akışı ölçülecektir. Pens ampermetrenin kalibrasyonu işleminde kullanılacak olan kalibratör Fluke 5500A’dır. Akım kalibrasyonu işleminde ölçüm cihazı Fluke 5500A / bobin’ dir. Fluke 5500A bobin cihazı kelepçe tipi akım sayaçlarını kalibre etmek için yardımcı bir cihaz olarak kullanılan 50-sarım sayılı-dönüştürücü bir akım bobinidir. Bu bölümde, pens ampermetreye ait sırasıyla AC voltaj ölçümü, DC voltaj ölçümü, direnç ve kapasite ölçümü ve akım ölçümü kalibrasyon işlemleri anlatılmaktadır.



Şekil 4.24. Fluke 376 pens ampermetre ve Fluke5500A Coil

Pens Ampermetre AC Voltaj kalibrasyonu

Öncelikle kalibrasyonu yapılacak olan pens ampermetrenin kablolarının hasarlı olup olmadığı kontrol edilir. Pens ampermetre kalibrasyonu esnasında kullanılan siyah uçlu prob ampermetre üzerinde bulunan "COM" giriş ucuna, kırmızı uçlu prob ise "Voltaj ölçüm" giriş ucuna bağlanır. Ampermetre cihaz kablo bağlantısı kalibratör üzerinde bulunan "Normal çıkış" olarak adlandırılan voltaj kısmına bağlanır. Kırmızı prob ucu kalibratörün (+) kısmına, siyah prob ucu ise (-) kısmına bağlanır. Pens ampermetre döner düğmesini V ölçümü için \tilde{V} ayarı üzerine getirilir. AC voltajını ölçmek için kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve "Enter" tuşuna basıldıktan sonra "ORS" tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden voltaj değeri uygulanarak ölçüm sonucunun multimetre üzerinden okunması sağlanır. Değer okunması sonrasında kalibratör üzerinden "STBY" tuşuna basılarak kalibrasyon sonlandırılır. Kalibratör üzerinde ters bağlantı yapılmış ise okunan değerler (-) işaretli görülmektedir.



Şekil 4.25. Pens ampermetre AC voltaj kalibrasyonu

Pens Ampermetre DC voltaj kalibrasyonu

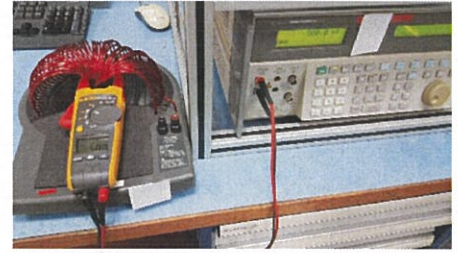
Siyah ve kırmızı uçlu probun pens ampermetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. DC voltajını ölçmek için kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve "Enter" tuşuna basıldıktan sonra "ORS" tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden voltaj değeri uygulanarak ölçüm sonucunun ampermetre üzerinden okunması sağlanır.



Şekil 4.26. Pens ampermetre DC voltaj kalibrasyonu

Pens Ampermetre direnç ve kapasite kalibrasyonu

Siyah ve kırmızı uçlu probun pens ampermetre ve kalibratöre bağlantısı AC voltaj ölçümünde olduğu gibi yapılır. Direnç veya kapasite ölçümü için kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve “Enter” tuşuna basıldıktan sonra “ORS” tuşu kullanılarak ölçüm başlatılır ve sonuç ampermetre üzerinden okunur.



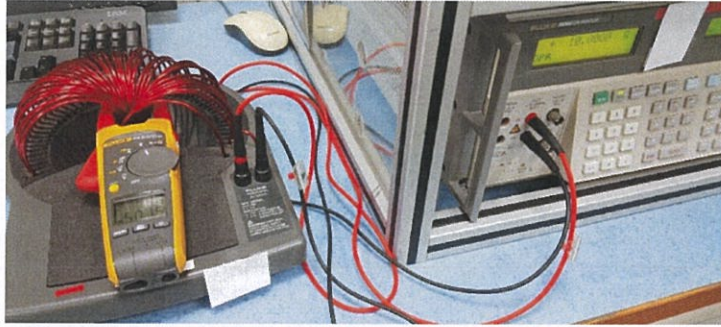
Şekil 4.27. Pens ampermetre direnç ve kapasite kalibrasyonu

Pens Ampermetre akım kalibrasyonu

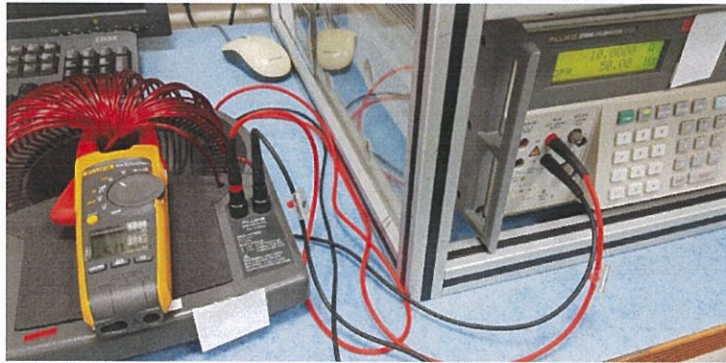
Pens ampermetre, Fluke 5500A bobin cihazı üzerine koyulur ve ampermetre kıskacı cihaz üzerinde bulunan sarımları içine alacak şekilde konumlandırılır. Kullanılan kablunun uç kısımları Fluke 5500A bobin üzerinde bulunan akım kısmına getirilir. Kablunun diğer uç kısımları ise kalibratör üzerinde bulunan “AUX (Yardımcı çıkış)”

kısmına bağlanır. Kırmızı prob ucu kalibratörün (+) kısmına, siyah prob ise (-) kısmına gelecek şekilde bağlantı gerçekleştirilir.

Ampermetre döner düğmesi DC veya AC akım ölçümüne göre akım kademesini gösteren şekil üzerine getirilir. Akım ölçmek için kalibratör üzerinden istenilen değerler yazılır ve “Enter” tuşuna basıldıktan sonra “ORS” tuşu kullanılarak kalibratör üzerinden akım değeri uygulanarak ölçüm sonucunun pens ampermetre üzerinden okunması sağlanır.



Şekil 4.28. Pens ampermetre DC akım kalibrasyonu



Şekil 4.29. Pens ampermetre AC akım kalibrasyonu

Kalibratörden uygulanan akım değerinin 50 katı pens ampermetreden okunur. Örnek verecek olursak; Fluke 5500 A kalibratöründen 2 amperlik akım değeri uygulandığında, pens ampermetreden 100 amperlik akım değeri okunmaktadır ($2 \text{ A} \times 50 = 100 \text{ A}$). Değer okunması sonrasında kalibratör üzerinden “STBY” tuşuna basılarak ölçüm sonlandırılır.

Çizelge 4.17. Pens ampermetre kalibrasyonunun sonuçları

Ölçüm Planı	Birim	Cihazın Ölçüm Sonucu	Alt ölçüm Noktası	Referans Cihazın Ölçüm Sonucu	Üst Ölçüm Noktası	Değerlendirme
50 V AC/50 Hz	V	49,90	49,25	50,00	50,75	✓
200 V AC/50 Hz	V	199,8	197,0	200,0	203,0	✓
600 V AC/50 Hz	V	599,7	591,0	600,0	609,0	✓
1000 V AC/50 Hz	V	1000	985	1000	1015	✓
50 V DC	V	50,00	49,50	50,00	50,50	✓
200 V DC	V	199,8	198,0	200,0	202,0	✓
600 V DC	V	599,6	594,0	600,0	606,0	✓
1000 V DC	V	1000	990	1000	1010	✓
50 mV DC	mV	50,00	49,50	50,00	50,50	✓
250 mV DC	mV	250,0	247,0	250,0	252,0	✓
500 mV DC	mV	500,0	495,0	500,0	505,0	✓
60 Ohm(2W)	Ohm	59,90	59,40	60,00	60,60	✓
6 kOhm(2W)	kOhm	5,999	5,940	6,000	6,060	✓
60 kOhm(2W)	kOhm	59,99	59,40	60,00	60,60	✓
250 µF	µF	250	247	250	252	✓
500 µF	µF	501	495	500	505	✓
1000 µF	µF	999	990	1000	1010	✓
60 A DC	A	60,30	58,80	60,00	61,20	✓
250 A DC	A	252,2	245,0	250,0	255,0	✓
500 A DC	A	504,8	490,0	500,0	510,0	✓
60 A AC/400Hz	A	60,20	58,20	60,00	61,80	✓
500 A AC/400Hz	A	504,0	485,0	500,0	515,0	✓
1A AC/50 Hz	Hz	50,00	49,75	50,00	50,25	✓

Çizelge 4.16’ da referans ölçüm cihazı olarak kullanılan Fluke 5500A kalibratörünün farklı AC volt, DC volt, direnç, kapasite ve akım değerleri kalibrasyon sonuçları verilmiştir. Kalibre edilen pens ampermetre ile kalibratör olarak kullanılan Fluke 5500A cihazının ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, tüm ölçüm değerlerinde yapılan kalibrasyon sonuçlarının tolerans içinde olduğu gözlenmiştir.

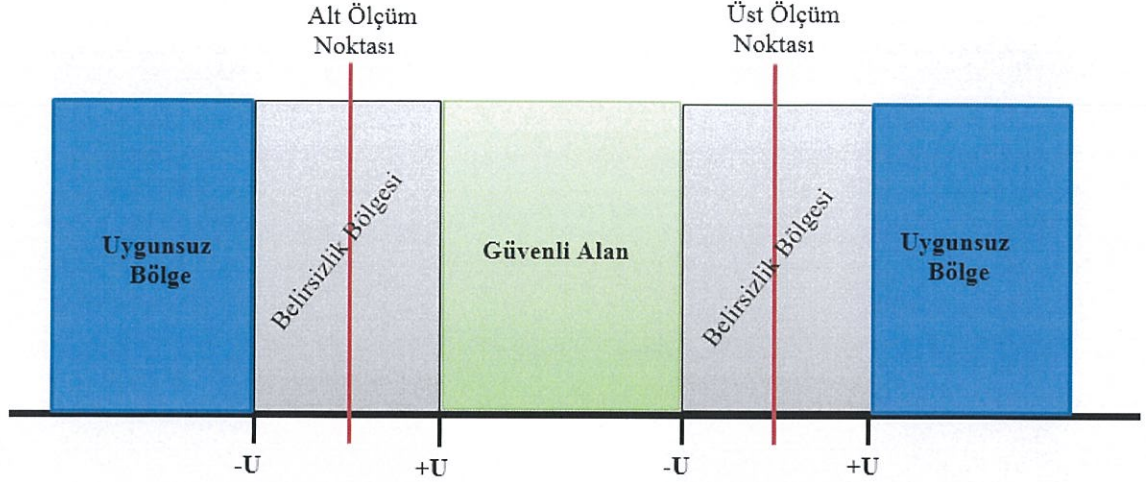
5. SONUÇ

Günlük yaşantımızda da sıkça kullandığımız ölçme işleminin yüksek doğruluk ve güvenilirlikle gerçekleştirilebilmesi oldukça önemlidir. Metroloji biliminde uluslararası standartlar dikkate alınarak yapılan ölçümler neticesinde kaliteli ve kullanışlı ürünler geliştirmek mümkün olmaktadır. Kalite Güvencesi Sistemi, ölçümü gerçekleştirilen cihazlardan doğru ve güvenilir sonuçlar sayesinde oluşturulur.

Bu tez çalışmasında, otomotiv endüstrisinde kullanılan ölçüm aletlerinin belirli referans cihazlar ile sıcaklık, basınç ve elektriksel kalibrasyonları yapılmıştır. Ölçüm aletlerinde uluslararası standartlara göre gerçekleştirilen kalibrasyon işlemi ile izlenilebilirlik zinciri kurulmuştur. Ölçüm yapılan cihazlarda kullanılan tolerans aralıklarına göre, farklı sıcaklık, basınç ve elektriksel büyüklük değerlerinde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tolerans aralıklarında, referans cihazın ölçüm sonuçları ile kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları birbirleri ile kıyaslanarak ölçüm aletinin çalışma uygunluğunun denetimi yapılmıştır. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçlarının uygun olup olmadığına belirli toleransa sahip ölçülen cihazın ölçüm sonuçlarına bakılarak karara verilmiştir. Aynı zamanda kalibre edilen cihazlarda belirsizlik hesapları dikdörtgen ve normal dağılım tiplerine göre gerçekleştirilmiştir. Belirsizlik hesaplamaları GUM yöntemine göre yapılmıştır. ISO 14253' e göre ölçüm sonucunun uygunluk değerlendirmesi yapıldığında; kalibre edilen kontrol aletinin kullanım yerinin uygunluğunu kontrol etmek için cihaz özellikleri ve prosese uygun olacak şekilde belirli bir tolerans değeri verilmiştir. Belirlenen tolerans değerlerine göre alt ve üst ölçüm nokta sınırları oluşturulur.

Alt ve üst ölçüm sınır noktalarına, hesaplanmış olan belirsizlik değerlerinin çıkarılması ve eklenmesi ile belirsizlik bölgesi oluşturulur. Alt ve üst sınır noktalarını kapsayan alandan hesaplanan belirsizlik alanının çıkarılmasıyla “Güvenli alan” belirlenir. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları bu alan içerisinde olduğunda cihaz ölçüm sonucunun uygun olduğu yorumu yapılır. Alt ve üst sınır noktalarından hesaplanan alana belirsizlik alanı eklendiğinde “Uygunsuz Bölge” belirlenir. Kalibre edilen cihazın ölçüm sonuçları bu alan içerisinde ise cihaz ölçüm sonucunun uygun olmadığı yorumu yapılır. Alt ve üst ölçüm noktalarına hesaplanan ölçüm belirsizlik değerinin eklenmesi veya çıkarılmasıyla

meydana gelen bölge “Belirsizlik bölgesi” olarak adlandırılmaktadır ve bu bölgede cihaz ölçüm sonucunun uygun olup olmadığının değerlendirilmesi yapılamamaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Ölçüm sonucu değerlendirme aralığı

Gelecek çalışmalarda, kalibrasyon laboratuvarları arası karşılaştırmalı ölçümler yapılarak, bilinen hata değerlerinin azaltılmasına ve belirsizlik değerlerinin küçültülmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca, kontrol aletinin periyodik kalibrasyon sonuçları arasındaki ilişkinin analizi ile cihazda meydana gelebilecek sapmalar öngörülebilir ve kalibrasyon sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesine bağlı olarak kontrol aletinin periyodik kalibrasyon aralığı genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- Altın M. 2010.** Hassas sıcaklık ölçümünde ölçüm belirsizliği için farklı modellemeler ve deneysel karşılaştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Anonim, 1994.** Fluke 5500A Multi-Product Calibrator. <http://assets.fluke.com/manuals/5500a-omeng1100.pdf> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2007a.** Sıcaklık Ölçümü. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/S%C4%B1cakl%C4%B1k%20%C3%96l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC.pdf
- Anonim, 2007b.** Manometre ve manometre çeşitleri. <https://www.makinaegitimi.com/manometreler-ve-manometre-cesitleri/> - (Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Anonim, 2007c.** Fluke 287/289 True-rms Digital Multimeters. http://assets.fluke.com/manuals/287_289_umeng0100.pdf - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2008a.** Kısaca metroloji. <http://www.ume.tubitak.gov.tr/>-(Erişim tarihi: 14.06.2019)
- Anonim, 2008b.** Tübitak UME-BIPM-Uluslararası metroloji sözlüğü. http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/uluslararası_metroloji_sozlugu.pdf- (Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Anonim, 2008c.** Dirençli termometrelerin yapısı ve uygulaması. <https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiI7JimvavkAhVq-yoKHX9hBPsQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.jumo.cz%2Fattachments%2FJUMO%2Fattachmentdownload%3Fid%3D8269%26filename%3Dt90.2000tr.pdf&usg=AOvVaw2LrxtEqRwKNhVhkC2UTVxS-> (Erişim tarihi:16.06.2019)
- Anonim, 2009.** Multimetre nasıl kullanılır? <https://elektronikhobi.net/multimetre-nasil-kullanilir/> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2013a.** Metroloji. <http://www.ume.tubitak.gov.tr/>-(Erişim tarihi: 14.06.2019)
- Anonim, 2013b.** Metrolojide ölçüm belirsizliği. <https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/metrolojide-olcum-belirsizligi/388->(Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Anonim, 2013c.** EA -4/02 Kalibrasyonda Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi, <http://www.turkak.org.tr/TURKAKSITE/docs/EA402.pdf> - (Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Anonim, 2014.** Ulusal Metroloji Stratejisi ve Eylem Planı. T. C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü, 2014, Ankara.
- Anonim, 2015a.** Basınç ve basınç kalibrasyonu. <http://www.ecekalibrasyon.com/duyuru-manometre-kalibrasyonu.html> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2015b.** Multimetre nasıl kullanılır? <https://otomasyonadair.com/2015/09/03/multimetre-nasil-kullanilir-2/> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2015c.** Ampermetre nedir? <http://www.elektrikrehberiniz.com/olcu-aletleri/ampermetre-nedir-10658/> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Anonim, 2018a.** Sıcaklık Ölçümü ve Kalibrasyonu Hakkında Bilmeniz Gerekenler. <https://www.netes.com.tr/blog/sicaklik-olcumu-ve-kalibrasyonu-hakkinda-bilmeniz-gerekenler->(Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Anonim, 2018b.** Ölçüm belirsizliği hesaplama rehberi. <http://www.integra96.com/olcum-belirsizligi-hesaplama-rehberi/> - (Erişim tarihi: 18.08.2019)

- Anonim, 2019a.** Termokupl (Isıl Çift) Nedir? Ne İşe Yarar? Nasıl Çalışır? <https://teknolojirojeleri.com/teknik/termokupl-isisl-cift-nedir-ne-ise-yarar-nasil-calisir> - (Erişim tarihi: 06.07.2019)
- Anonim, 2019b.** Termokupl nedir? <https://diyot.net/termistor/> - (Erişim tarihi: 06.07.2019)
- Anonim, 2019c.** Atmosphere (unit). [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_(unit)) - (Erişim tarihi: 06.07.2019)
- Anonim, 2019d.** Basınç dengeleri. https://www.wika.com.tr/products_pressure_balances_tr_tr.WIKA- (Erişim tarihi: 06.07.2019)
- Bayraklılar, E. 2005.** Sıcaklık ölçüm tekniklerinin kalibrasyon metotları açısından incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isı ve Proses Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bilgiç, E. 2013.** 6. Kontrol, Metroloji, Test Ekipmanları ve Endüstriyel Yazılım Fuarı, 16 Kasım 2013, İstanbul Fuar Merkezi, İstanbul.
- Can, C. 2008.** Kuvvet makinelerinde kullanılan ölçme elemanlarının kalibrasyonu ve hata analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Capra, P.P., Galliana, F. 2016.** 1 Ω and 10 k Ω high precision transportable setup to calibrate multifunction electrical instruments. *Measurement*, 82: 367–374.
- Chen, A., Chen, C. 2016.** Comparison of GUM and Monte Carlo methods for evaluating measurement uncertainty of perspiration measurement systems. *Measurement*, 87: 27–37.
- Çetiner, O. 2013.** Yüksek frekanslı cihaz kalibrasyon kurulumlarında ölçüm belirsizliklerinin hesaplanması ve kalibrasyon yazılımı geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Fidan, U., Çalkuşu, İ., Karasekreter N. 2010.** DKD R5-7 Standardına göre etüv cihazı kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 9, Sayı 2: 175-191.
- Gür, A.T., Demirci E., Dernek E. 1997.** Isılçift sensörlü sayısal termometrelerin benzetim yönetimi ile kalibrasyon ve ölçüm belirsizliğinin ifadesi. 2. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildirileri, 23-24 Ekim 1997, Eskişehir.
- Işık, A., Uğur, S., İnce, A.T. 1995.** 234.3156K ile 692.677K sıcaklık aralığında standart platin direnç direnç termometrelerin uluslararası sıcaklık ölçeğine (ITS-90) göre kalibrasyonların gerçekleştirilmesi. https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/2d95767fb7f4e44_ek.pdf-(Erişim tarihi:16.06.2019)
- Karadaş, F. 2003.** Doğruluk-Kesinlik. <https://www.kimyasanal.com/konu/dogruluk-kesinlik/>-(Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Kartal, A., Kuyruklyıldız, A.C., İnce, A.T. 1997.** Uluslararası sıcaklık ölçeği 1990 (ITS-90)'a göre karşılaştırmalı kalibrasyonların yapılması. 2. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildirileri, 23-24 Ekim 1997, Eskişehir.
- Kılıç, B. 2019.** Kalibrasyonda ölçüm belirsizliği. https://www.academia.edu/18487012/Ethan_Frome - (Erişim tarihi: 18.08.2019)
- Kojima, M., Kobata, T. 2012.** Development of low-pressure calibration system using a pressure balance. *Measurement*, 45: 2479–2481.
- Olencki, A., Mróz, P. 2017.** Traceable technique to calibrate current coils for calibration of the power clamp meters in AC current range up to 1000 A. *Measurement*, 109: 366–372.

- Sadikhov E., Kangı R., Uğur S. 1995.** Ölçüm Belirsizliği. <http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/ume-95-014.pdf>-(Erişim tarihi: 16.08.2019)
- Strouse, G.F., Olson, D.A., Hendricks, J.H. 2019.** An integrated and automated calibration system for pneumatic piston gauges. *Measurement* 134: 1–5
- Svete, A., Bajsic, I. Kutin, J. 2018.** Investigation of polytropic corrections for the piston-in-cylinder primary standard used in dynamic calibrations of pressure sensors. *Sensors and Actuators A* 274: 262–271
- Theodoro, F.R.F., Reis, M.L.C.C., Souto, C.A., Barros, E. 2016.** Measurement uncertainty of a pressure sensor submitted to a step input. *Measurement*, 88: 238–247.
- Tunçalp, K., Kaplanoğlu, E., Sucu, M. 2001.** Metroloji mühendisliğinin kurulmasına yönelik üniversite-UME işbirliği ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde ölçme programları. IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 25-26 Ekim 2001, Eskişehir.
- Wang, J., Zhang, Q., Jiang W. 2017.** Optimization of calibration intervals for automatic test equipment. *Measurement*, 103: 87–92.
- Wüest, M., Caduff G., Jaeger, E., Riederer, N. 2007.** Calibration of pressure sensors in an industrial environment. *Vacuum*, 81: 1532–1537.
- Yang, S., Chan, B., Lam, B., Lee, L.C. 2018.** Improvement of an Automated AC/DC Voltage Transfer Calibration System at the Standards and Calibration Laboratory. 978-1-5386-0974-3/18
- Yang, J., Fan, S., Li, B., Huang, R., Shi, Y., Shi, B. 2018.** Dynamic modeling of liquid impulse pressure generator for calibration of pressure sensors. *Sensors and Actuators A* 279: 120–131.
- Yang, J., Driver. R.G., Quintavalle, J.S., Scherschligt, J., Schlatter, K., Ricker, J.E., Grégis, F. 2019.** On the meaning of measurement uncertainty. *Measurement*, 133: 41–46
- Ghorbani, M.M., Taherian, R. 2019.** Methods of Measuring Electrical Properties of Material. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/electrical-resistivity> - (Erişim tarihi: 17.07.2019)
- Yolaçan, E., Güleç M. 2019.** Elektrik Devre Temelleri Dersi. <http://mekatronik.kocaeli.edu.tr/upload/duyurular//101018112205ae2da.pdf> – (Erişim tarihi: 17.07.2019)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif SABURLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa/06.09.2019
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu ve Yıl

Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi/2009
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği/2013
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği/2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Doğupres A.Ş. / 2013-2015
Bosch Sanayi Ve Ticaret A.Ş. / 2015- Devam

İletişim (e-posta) : elif1014@hotmail.com